

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERKENNUNG VON DEFEKTEN AN GEGENSTÄNDEN ODER ZUR ORTUNG VON METALLISCHEN OBJEKten

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren, welches sowohl für die Ortung von metallischen Gegenständen z.B. im Erdreich geeignet ist, als auch zur Erkennung von Defekten an Gegenständen verwendet werden kann. Insbesondere kann die Erfindung zur Erkennung von Defekten an metallischen Gegenständen, und hier insbesondere an ferromagnetischem Halbzeug oder Fertigprodukten verwendet werden.

Ähnliche Vorrichtungen und Verfahren dieser Art sind seit längerer Zeit bekannt, es besteht aber weiterhin die Aufgabe, höherwertige tragbare Meßgeräte der gattungsgemäßen Art zu schaffen, insbesondere solche auf Basis einer Wirbelstrom-Meßtechnik, oder auf Basis Ultraschall-Messtechnik oder artverwandter Meßtechniken.

Aufgabe ist es somit, ein Gerät der gattungsgemäßen Art bereitzustellen, für welches der erforderliche Aufwand zu dessen Herstellung signifikant reduziert ist, und welches gleichzeitig - möglichst noch bei verringertem Energiebedarf - präzisere und zuverlässigere Messungen ermöglicht.

Die vorliegende Erfindung löst das anstehende Problem nach Maßgabe der Merkmale des bzw. der unabhängigen Patentansprüche. Ein wichtiger Aspekt der Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß es möglich ist, bislang ungenutzte Signalquellen entweder alleine oder im Zusammenspiel mit an sich bekannten und nach dem Stand der Technik verwendeten Signalquellen zu verwenden.

Im einzelnen sieht die Erfindung unter anderem, einzeln oder kombiniert, folgendes vor :

- ein Verfahren zur Ortung von metallischen Gegenständen, oder zur Erkennung von Defekten an Gegenständen, bei welchem mithilfe einer Rechneransteuerung gleichzeitig die wechselspannungsmäßige Bestromung mindestens einer Sendespule durch ein Trägersignal bewirkt wird, mittels mindestens einer Empfangsspule ein im wesentlichen amplituden- und/oder phasenmoduliertes Empfangssignal empfangen wird, und wobei weiterhin eine Demodulation des Empfangssignals unter Verwendung eines Computers und eines Fourier- oder Wavelet- Transformationsverfahrens vorgenommen wird, dergestalt, dass eine

vordefinierte Anzahl digital ermittelter Meßresultate (Samples) einem solchen Transformationsverfahren zugeführt werden, für die Frequenz des Trägersignals ein zugehöriger Betragswert und/oder Phasenwert errechnet wird und ein solcher Betrag- und/oder Phasenwert als direktes Maß für eine aktuelle Signalstärke oder -phasenlage des demodulierten Empfangssignals verwendet wird

- alternativ ein Verfahren zur Ortung von metallischen Gegenständen, oder zur Erkennung von Defekten an Gegenständen, bei welchem mithilfe einer Rechneransteuerung gleichzeitig die wechselspannungsmäßige Bestromung mindestens einer Sendespule durch ein Trägersignal bewirkt wird, mittels mindestens einer Empfangsspule ein im wesentlichen amplituden- und/oder phasenmoduliertes Empfangssignal empfangen wird, und wobei weiterhin eine Mehrfach-Demodulation des Empfangssignals unter Verwendung eines Computers und eines Fourier- oder Wavelet- Transformationsverfahrens vorgenommen wird, dergestalt, dass eine vordefinierte Anzahl digital ermittelter Meßresultate (Samples) einem solchen Transformationsverfahren zugeführt werden und ein Spektrum errechnet wird, sodann für die Frequenzen des Trägersignals und mindestens einer weiteren Frequenzkomponente des genannten Spektrums zugehörige Betragswerte und/oder Phasenwerte errechnet werden und die so errechneten Betrag- und/oder Phasenwerte als direkte Maßzahlen eines aktuellen Signalstärke-Vektors oder -phasenlagen-Vektors des demodulierten Empfangssignals verwendet werden
- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausführungen, wobei zeitlich aufeinanderfolgende Fourier- oder Wavelet-Transformationen durchgeführt werden, welche auf Mengen von jeweils mindestens 3, bevorzugt jedoch mindestens 9 sukzessiv ermittelten Messwerten (Samples) beruhen
- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausführungen, bei dem Folgen von zeitlich einander überlagerten oder zeitlich überlappenden Sample-Mengen verwendet werden, so daß auch überlappende Fourier- oder Wavelet-Transformationen durchgeführt werden können
- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausführungen, bei dem pro Vollwelle des Trägersignals mindestens 2 Samples erfaßt und verarbeitet werden

- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausruhrungen, bei dem pro Vollwelle des Trägersignals weniger als 1 Sample erfaßt und verarbeitet wird und dementsprechend eine lückende Datenerfassung im Sinne eines Undersamplings erfolgt
- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausführungen, wobei ein zusätzliches digital wirkendes Filterverfahren für das zu demodulierende Signal und/oder dessen Oberwellen vorgesehen ist
- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausführungen, wobei ein zusätzliches digital wirkendes Filterverfahren für das demodulierte Signal bzw. den demodulierten Signal-Vektor vorgesehen ist
- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausführungen, bei welchem eine digitale Tiefpasswirkung für das demodulierte Signal stattfindet bzw. geschaffen wird und die Breite des mathematisch zugeordneten digitalen Tiefpass-Filters dadurch variierbar gemacht wird, daß eine unterschiedlich große Anzahl von digital ermittelten Meßwerten (Samples) einer jeweiligen Fourier- oder Wavelet-Transformation zugeführt wird, so daß eine kleine Anzahl von Samples eine größere Filterbreite und eine größere Anzahl von Samples eine kleinere Filterbreite des mathematisch zugeordneten digitalen Tiefpass-Filters für das demodulierte Signal bewirkt.
- ein Verfahren gemäß obenstehenden Ausführungen, bei dem die Anzahl von Samples umgekehrt proportional zur Frequenz eines von einem Geschwindigkeitsgeber abgegebenen Frequenzsignal gewählt wird, oder direkt proportional zu den von dem Geschwindigkeitsgeber abgegebenen Pulslängen ist
- eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens gemäß obenstehenden Ausführungen, mit Einrichtungen mindestens in Form einer Sendespule, mindestens einer Empfangsspule, mindestens einer elektronischen Recheneinheit, mindestens einem Analog-Digital-Wandler, und einem oder mehreren diese Einrichtungen umschließenden Gehäuse(n)
- die Verwendung der Vorrichtung, oder eines Verfahrens, gemäß obenstehenden Ausführungen, im industriellen Umfeld, und zwar zur nicht-destructiven Fehlererkennung an Halbzeug oder Fertigprodukten
- die Verwendung der Vorrichtung gemäß obenstehenden Ausführungen zur Lokalisation von metallischen Gegenständen im Erdreich, oder unter bzw. im Wasser

Die erfindungsgemäße Vorgehensweise sieht zu diesen Zwecken ein als innovativ betrachtetes erweitertes Demodulationsverfahren vor, welches sich von einem einfachen Gleichrichtungsverfahren in erheblicher Weise und auch von herkömmlichen Synchrongdemodulationsverfahren signifikant unterscheidet. Im übrigen kann das Demodulationsverfahren in diesem Zusammenhang auch für die Auswertung einer stark reduzierten Teilmenge der verfügbaren Informationen verwendet werden. Es kann unabhängig davon mit einem innovativen adaptiven Filterverfahren kombiniert werden.

Das erfindungsgemäße Demodulationsverfahren kann im wesentlichen als ein solches für amplitudenmodulierte Signale aufgefasst werden. Solche treten bekanntermaßen bei herkömmlichen Radio/Rundfunksignalen auf. Das Demodulationsverfahren ist aber auch ohne weiteres in der Lage, Phasenveränderungen an einem zu demodulierenden Signal zu erkennen und kann dann als Phasendemodulationsverfahren aufgefasst werden. - Wie erfindungsgemäß bevorzugt vorgesehen, können diese Demodulationsverfahren z.B. auch bei der Wirbelstrom-, EMAT- oder Ultraschallprüfung an industriell gefertigten Prüflingen der Fall sein. Insofern wird für den erfindungsgemäßen Prozess der Demodulation die Existenz eines Trägers vorausgesetzt, zumindest dessen Rückgewinnbarkeit aus zugehörigen Signalquellen. - Herkömmliche Demodulationsverfahren der in der Materialprüfung angewendeten Art beschränken sich lediglich darauf, die spektrale Energiedichte und ggf. die Phasenlage im Umfeld der Trägerfrequenz zu ermitteln - insbesondere die der angrenzenden Seitenbänder, welche typischerweise die interessierende und zeitlich variierende Information tragen. Demgegenüber sieht die Erfindung vor, zusätzlich gegebenenfalls auch die Energiedichten (sprich Amplituden) und/oder Phaseninformationen im Umfeld zumindest der zweifachen, bei Bedarf auch der dreifachen und ggf. auch der vierfachen Frequenz im Vergleich zur Trägerfrequenz zu ermitteln, allgemein solcher Oberwellen, deren Signal/Rauschverhältnis größer ist als eins. Darüberhinaus kann zu Kontrollzwecken ohne weiteres die Energiedichte eines DC-Anteils (mit der Frequenz Null) durch das erfindungsgemäße Verfahren bestimmt werden.

Der erfindungsgemäße Demodulationsvorgang für Signale zum Zwecke der Materialprüfung sieht also im Gegensatz zu herkömmlichen Demodulationsverfahren vor, auf Basis einer wählbaren aktuellen Anzahl von zeitlich sukzessiv und digital ermittelten Messwerten eine diskrete Fouriertransformation, oder Wavelettransformation o.ä., durchzuführen. Eine aktuell auf diese Weise ermittelte Amplitude oder Intensität des Trägers (d.h. des Trägersignals) im durch die Empfangsspule empfangenen Signal, eventuell auch in der Nachbarschaft des Trägers, ergibt dann einen ersten aktuellen Demodulationswert. Gleichzeitig kann auf diese Weise ein erster aktueller Phasenwert errechnet werden. Das gleiche gilt für die obengenannten Energiedichten bzw. Amplituden und/oder Phasenwerten von analysierbaren Oberwellen.

D.h., es wird gemäß der Erfindung nicht nur die zeitliche Variation der Amplitude oder der Phasenlage des Trägers betrachtet, sondern bevorzugt auch die zeitliche Variation der Amplitude oder der Phasenlage der genannten Oberwellen, und zwar einzeln oder in Kombination miteinander. Es werden im Vergleich zu bekannten Verfahren somit eine Mehrzahl an Amplituden- und/oder Phasenwerten bereitgestellt, welche gemäß der Erfindung je nach Anwendungsfall in additiv/subtraktiver Kombination(en) ausgewertet werden können, oder weiterhin auch andere Kennwerte, die mittels Multiplikation oder Division der ursprünglichen Werte miteinander erhalten werden können. - Es sei an dieser Stelle angemerkt, daß ein herkömmliches z.B. Synchrondemodulationssignal lediglich Amplituden- und Phaseninformationen bereitstellt im Bereich der auf einen Frequenz-Wert "Null" verschobenen Trägerfrequenzanteile (Prinzip der Synchrondemodulation). Eine gleichzeitige Bereitstellung solcher Informationen für höhere Frequenzen (d.h. zum Träger gehörende Oberwellen) ist mittels herkömmlicher Synchrondemodulation prinzipiell nicht möglich (vgl. Figuren 8 und 9). - Das erfindungsgemäße Verfahren basiert also darauf, daß unter passenden Voraussetzungen nicht nur der Informationsgehalt des Trägers und seiner Nachbarschaft abgeschöpft und genutzt werden kann, sondern ebenfalls und zusätzlich auch der Informationsgehalt der Oberwellen des Trägers, und zwar in Bezug auf deren zeitlich variablen Amplituden und/oder Phasenlagen. Sofern einige Oberwellen des Trägers sich als eher zeitlich konstant erweisen, kann dieser Sachverhalt zu Vergleichs- und Referenzzwecken genutzt werden. Vorgreifend wird hier auf die Fig. 2 verwiesen, welche das Spektrum eines

Wirbelstromtestsignals wiedergibt, welches mit einem kommerziellen Testsystem an einem mehrere Defekte aufweisenden Prüfling generiert wurde. Basierend auf ca. 1,5 Millionen konsekutiv und äquidistant mit 16-bit-Auflösung abgetasteten Meßwerten (=Samples), welche anteilig auch die defektverursachten Signalanteile beinhalten, wird in halblogarithmischer fouriertransformierter Darstellung deutlich gezeigt, daß ein solches Signal neben dem intensiven Trägersignal (mit einer Intensität von ca. 92 dB) auch die 1., 2. und 3. Harmonische sowie weitere Spektrallinien aufweist, die einen deutlichen Abstand zum sog. Rauschen (hier ca. 0 dB) besitzen. Zusätzlich kann die Intensität der im Signalgemisch enthaltenen Gleichspannungskomponente (= Frequenz bei 0 kHz) abgelesen werden. Solche Informationen, genauer; die Variation solcher Informationen über die Zeit, können gemäß der Erfindung in innovativer Weise genutzt werden.

Die Erfindung wird im weiteren anhand der Zeichnung erläutert.

Es zeigt:

- Fig. 1 das Schema des allgemein verwendeten Meßprinzips
- Fig.2 gemittelte spektrale Anteile (PSD) eines so erhaltenen Meßsignals
- Fig.3 Spektrale Anteile bei Abwesenheit von Fehlern
- Fig.4 Spektrale Anteile in Gegenwart eines Fehlers
- Fig.5 Spektrale Anteile bei Abwesenheit von Fehlern, intermittierende Abtastung
- Fig.6 Spektrale Anteile in Gegenwart eines Fehlers, intermittierende Abtastung
- Fig.7 Spektrale Anteile bei Synchron demodulation, intermitt. Abtastung,  
bei Abwesenheit von Fehlern
- Fig.8 Spektrale Anteile bei Synchron demodulation, intermitt. Abtastung,  
in Gegenwart eines Fehlers
- Fig.9 Phasenverhalten bei Synchron demodulation, intermitt. Abtastung,  
bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 10 Phasenverhalten bei Synchrongdemodulation, intermitt. Abtastung,  
in Gegenwart eines Fehlers

Fig. 11 Phasenverhalten bei Fourierdemodulation, intermitt. Abtastung,  
bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 12 Phasenverhalten bei Fourierdemodulation, intermitt. Abtastung,  
in Gegenwart eines Fehlers

Fig. 13 Auswertungsschema für ein amplitudenmoduliertes Zeitsignal

Fig. 14 das Schema eines erfundungsgemäßen Gesamtsystems

Fig. 15 eine Resultatdarstellung, erhalten per fourierdemoduliertem Gesamtsignal  
bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 16 eine Resultatdarstellung, erhalten per fourierdemoduliertem Signal  
basierend auf intermittierender Abtastung, bei Abwesenheit von Fehlern

Fig. 17 dito für fourierdemoduliertes Gesamtsignal  
bei beobachtetem Fehler

Fig. 18 dito für fourierdemoduliertes Signal ermittelt m. intermitt. Abtastung,  
bei beobachtetem Fehler

Fig. 19 eine vergleichende Resultatdarstellung, erhalten per fourierdemodulierten  
Signalen, bei An- bzw. Abwesenheit eines Fehlers/Defektes

In Fig. 1 wird in schematischer Form ein Teil eines Prüflings 13 gezeigt, repräsentiert in Form eines industriellen Halbzeugs (Bramme), samt einem dort vorhandenen und zu detektierenden Defekt 15. Der Prüfling 13 kann sich - in an sich bekannter Weise - mit konstanter oder unterschiedlicher Geschwindigkeit (Parameter "v") an einer Teststation vorbei bewegen, welche mindestens eine Sendespule 12 (Symbol: L1) und mindestens eine Empfangsspule 14 (Symbol : L2) enthält. Die mindestens eine Sendespule 12 wird geeignet d.h. nach Maßgabe

des Erfindungsgedankens mittels einer im wesentlichen konstanten Wechselspannung (ca. 1 - 1200 kHz, ggf auch Sonderfrequenzen) bestromt. An der mindestens einen Empfangsspule 14 wird ein Wirbelstromsignal als Empfangssignal abgegriffen. Dieses ist von gleicher Frequenz wie die Sende-Wechselspannung, kann aber durch Defekt(e) 15 bedingte zeitliche Amplitudenschwankungen und/oder Phasenschwankungen aufweisen (vgl. Fig. 14 mit einem einzigen Bereich reduzierter Amplitude und ggf. veränderter Phase).

In Fig. 2 werden in halblogarithmischer Darstellung die Spektralanteile ("PSD") eines solcherart erhaltenen und mittels Fouriertransformation gewandelten Signals gezeigt. Die schmalbandige Linie maximaler Intensität ist dem sog. Träger zuzuordnen, der in diesem Falle eine Frequenz 5.000 kHz aufweist. Wie man sieht, ist der DC-Anteil bei der Frequenz 0.0 kHz wesentlich geringer, und auch geringer als die Intensität der sog. 1. und 2. Oberwelle (also bei 10 kHz bzw. 15 kHz). Neben den letztgenannten Spektralanteilen sind diverse weitere Linien vorhanden, die sich deutlich von einem bei etwa 0 dB anzutreffenden Basispegel abheben. In dieser Figur wird das Frequenzspektrum wiedergegeben, welches auf einer sehr großen Anzahl sukzessiv digital abgetasteter Meßwerte (Samples) basiert und welches Signalanteile enthält, die im wesentlichen sowohl auf defektfreie Bereiche des untersuchten Prüflings zurückgehen, aber auch diejenigen Signalanteile umfassen, die auf einige (in diesem Fall 4 Stück) Defektbereiche des Prüflings zurückzuführen sind. - Es sei noch einmal festgehalten, daß das erfindungsgemäße Verfahren im Gegensatz zu anderen bislang benutzten Demodulationsverfahren nicht nur die zeitliche Variation des Trägers bestimmen kann, sondern zusätzlich die Größe und zeitliche Variation einer eventuell überlagerten Gleichspannungskomponente, so daß ein zusätzlicher Meßwert ausgewertet und kontrolliert werden kann.

Fig. 3 repräsentiert einen ähnlichen Sachverhalt wie Fig. 2, jedoch basierend auf einer reduzierten, sukzessiv aufgenommenen Anzahl von Abtastwerten aus der Menge der obengenannten Samples, welche auf defektfreie Bereiche des untersuchten Prüflings zurückgehen. Die anteiligen Spektrallinien erscheinen aufgrund der reduzierten Samplezahl (lediglich ca. 50000 Stück) im Vergleich zu Fig. 2 verbreitert. - Die Spektrallinie für die Trägerfrequenz repräsentiert gemäß der Erfindung das bzw. ein zu demodulierendes Signal,

wobei sowohl Intensität als auch Phasenlage dieses Signals von Interesse ist. - Wie man bereits hier in Fig. 3 sieht, hat sich im Vergleich zu den vorherigen Figuren das Verhältnis der Intensitäten von 1. Oberwelle zur Trägerlinie und auch dasjenige der 1. Oberwelle zur 2. Oberwelle merklich verändert.

Fig. 4 repräsentiert einen ähnlichen Sachverhalt wie Fig. 2, ebenfalls basierend auf einer reduzierten Anzahl (ca. 30000) von Abtastwerten aus der Menge der obengenannten Samples, welche nun aber auf einen einzelnen defektiven Bereich des untersuchten Prüflings zurückgehen. Die anteiligen Spektrallinien erscheinen ebenfalls verbreitert, und es wird deutlich, daß sich das Verhältnis der Intensitäten von Trägerlinie, 1. und 2. Oberwelle, somit die Intensitäten eines durch Demodulation bereitgestellten Signalvektors, erneut verändert hat.

Fig. 5 ist mit Fig. 3 zu vergleichen, beruht aber auf einem anderen wichtigen Aspekt der Erfindung, gemäß dem nämlich eine vergleichbare Darstellung mit wesentlich reduziertem Hard- und Softwareaufwand erhalten werden kann, wenn intermittierend Meßwerte erfaßt ("gesampelt") werden. D. h. das gleiche Signal wurde nicht anhand konsekutiv erfaßter Meßwerte ausgewertet, sondern lediglich anhand einer drastisch reduzierten Teilmenge von Abtastwerten. In dem gezeigten Falle wurde beispielsweise nur jeder 97. Abtastwert ("Sample") ausgewertet. Wie man sieht, ergibt sich ein mit Fig. 3 vergleichbarer, wenn auch reduzierter Informationsgehalt .

Ähnliches gilt für Fig. 6, welche mit Fig. 4 zu vergleichen ist, d.h. auf einer ebenfalls reduzierten Anzahl von Abtastwerten beruht. Diese gehen hier jedoch, in direkt vergleichbarer Weise, auf einen einzelnen defektiven Bereich des untersuchten Prüflings zurück. Auch in diesem Falle wurde sukzessiv nur jedes 97. Sample zur Signaldarstellung des demodulierten Signals herangezogen. Neben der Trägerlinie sind die Intensitäten der 1. und 2. Oberwelle zu erkennen.

Im Gegensatz dazu zeigt Fig. 7, welche nunmehr mit Fig. 3 bzw. Fig. 5 zu vergleichen ist, d.h. ebenfalls auf einer weiter reduzierten Anzahl von Abtastwerten beruht, folgendes: Bei einer mit paarweise Sinus- und Cosinuswerten arbeitenden Synchrongdemodulation, welche in vergleichbarer Weise auf sukzessiv und/oder intermittierend ausgewählten Samples basiert

(hier aber jedes 96. Sample erfaßt), wird die Trägerlinie lediglich zu einer Gleichspannungskomponente (mit zeitvariablen Charakter) konvertiert. Informationen zu irgendwelchen Oberwellen oder der ursprünglich vorhandenen DC-Komponente des Signals sind aus gegebenen Gründen nicht mehr vorhanden, unabhängig davon, ob ein durch einen Defekt verursachtes Signal vorliegt oder nicht.

Das Gegenbeispiel wird in Fig. 8 gezeigt, welche auch auf sukzessiv aber intermittierend ausgewählten Samples basiert (ebenfalls nur jedes 96. Sample), die aber auf einen Signalbereich zurückgehen, der für den bereits in Fig. 4 und 6 gezeigten Defekt oder Materialschaden repräsentativ ist. Neben der aktuell vorliegenden Gleichspannungskomponente (bei der Frequenz 0 kHz) sind keine auswertbaren weiteren Spektrallinien vorhanden.

Die zu Fig. 7 und 8 gehörige Phaseninformation auf Basis einer Synchrongdemodulation wird sodann in Fig. 9 resp. 10 gezeigt, welche aber nur wenig nutzbar ist. Es wird lediglich wiedergegeben, daß die Phasendifferenzen der Spektralanteile bei Abwesenheit eines Defektes geringere Varianz aufzuweisen scheinen als bei aktueller Beobachtung eines Defektes.

Wie aus Fig. 11 ersichtlich, bietet das erfindungsgemäße Verfahren hier nutzbare Vorteile, indem neben der Phaseninformation für den Träger zusätzlich speziell diejenigen für die 1. und 2. Oberwelle dargestellt werden können (vgl. die in der Fig. eingetragenen Hinweis-Pfeile). Dies gilt auch für "gekickte" Datenerfassung, welche hier wiederum auf beispielsweise jedem 97. genutzten Sample eines Signals basiert, und zwar bei Defektfreiheit des Prüflings. (In der Praxis wird man verständlicherweise auf die Erfassung von nicht genutzten Samples verzichten und dann bei stark reduzierter Sample-Frequenz lediglich solche Samples erfassen, die der als Beispiel genannten Teilmenge entstammen, basierend auf jedem 97. Sample. - Diese Vorgehensweise ermöglicht unter anderem die Verwendung langsamer, hochauflösender oder einfach nur kostengünstiger Analog-Digital-Wandler und reduziert darüberhinaus in vorteilhafter Weise den erforderlichen Rechenaufwand).

Demgegenüber zeigt Fig. 12 im Vergleich zu Fig. 11 die Verhältnisse, wenn der Prüfling einen Defekt aufweist. Die gezeigte Gesamtphasenverschiebung ist unbeachtlich und ist einem Startphasenwert zuzuordnen. Wichtig ist vor allem, daß neben der Phasenlage des Trägers eine sehr signifikante Phaseninformation der 2. Oberwelle erkennbar ist; in gewisser Weise auch

eine solche in der Umgebung der 1. Oberwelle (vgl. die in die Fig. eingetragenen Pfeile). Es ist eines der Anliegen der Erfindung, auch eben diese Phaseninformation in neuartiger Weise (also speziell auch für die Alternative "gelückte" Betriebsweise, d. h. nach Art einer Unterabtastung mit deutlich weniger als 1 Sample pro Vollwelle des Trägers) zur verbesserten Detektion von Defekten an Gegenständen zu verwenden. In gleicher Weise kann diese Phaseninformation zur verbesserten Detektion von Gegenständen durch batteriebetriebene sog. Metallsuchgeräte herangezogen werden. In diesem Falle ermöglicht die "gelückte" Datenerfassung und Betriebsweise mit Unterabtastung eine sehr willkommene Energieeinsparung.

Bei Auswertung konsekutiv (also ohne zeitliche Lücken) erfaßter Daten ist es sinnvoll, standardmäßige Fouriertransformationen (z.B. per FFT oder per DFT) oder ggf. auch Wavelet-Transformationen zu verwenden. Eine erste Filterwirkung ergibt sich in an sich bekannter Weise dadurch, daß die per Fouriertransformation dargestellten Spektral-Linien eine Breite aufweisen, die umgekehrt proportional ist zur Anzahl der zugrundegelegten Samples (Unschärferelation). Insofern ist es gemäß der Erfindung nützlich, nicht weniger als jeweils 9 geeignete Samples einer Fourier-Transformation zuzuführen, damit neben der Träger-Linieninformation (welche einen aktuellen Demodulations-Intensitätswert und dessen Phasenbezug repräsentiert) zumindest auch die 1. und die 2. Oberwelle nach Betrag (Intensität) und Phase dargestellt werden können. Auf diese Weise werden parallel und ohne Hardware-Mehraufwand zusätzliche Demodulationsergebnisse für zwei oder mehr weitere Frequenzen erhalten.

Fig. 13 zeigt als Beispiel zu verstehendes Schema die Vorgehensweise bei Anwendung der "gelückten" also intermittierend (bevorzugt äquidistant intermittierend) arbeitenden Datenerfassung. Es möge wie gezeigt per Spule L2 eine über die Zeit "t" bzw. ein zugehöriges Winkelmaß "phi" sinusförmig verlaufende Trägerspannung "U in" erfaßt werden. Diese wird bei Anwesenheit eines Fehlers kurzfristig modifiziert (vgl. Zeitmaß 4e3) um danach wieder auf den ursprünglichen Wert anzusteigen. Wie dargestellt, ist es möglich, eine Datenerfassung zu den Zeiten A, B, C, D, E, F, G, H<sub>5</sub> 1, J<sub>5</sub> K<sub>5</sub> L, M, N<sub>5</sub> O durchzuführen, insbesondere unter Verwendung einer Zusammenschaltung eines sog. A/D-Konverters und eines

Sample-and-Hold-Gliedes. Wie gezeigt, möge die Erfassung im zeitl. Abstand entsprechend  $420^\circ$  el. des Trägers stattfinden, also nach Art einer Unterabtastung bei  $0^\circ$ ,  $420^\circ$ ,  $840^\circ$ ,  $1260^\circ$  el. usw. In an sich bekannter Weise entsteht so ein Abbild sowohl der Trägerspannung als auch der Modulationsemwirkung, vgl. Zeitpunkte K und L, die einen geringeren Spannungswert aufweisen als zu den vergleichbaren Zeitpunkten E und F. Wie ebenfalls an sich bekannt, werden nicht nur die Intensitätsverhältnisse abgebildet, sondern auch die zugehörigen Phasenverhältnisse. Insofern gibt eine Fourier-Transformation, die z.B. die bei C D E F G H I J K vorliegenden neun Spannungswerte verarbeitet, nicht nur einen mittleren Amplitudenwert für die Grundwelle wieder, sondern auch deren Phasenlage bezüglich einer Referenz-Phase. Hierzu ist es ggf. in bekannter Weise erforderlich, die Startphasenlage des jeweils ersten zu transformierenden Samples korrekt in Anrechnung zu bringen. Die abschnittsweise Erfassung von Fouriertransformierten kann somit per Blöcken von z.B. je 9 (oder wesentlich mehr) Samples durchgeführt werden, die sich durch/nach Verschiebung um definierte Winkel-Incremente, sprich Samplezahl, ergeben. Dem Fachmann sind dabei Verfahren geläufig, die es gestatten, den Rechenaufwand zur Ermittlung abschnittsweiser Resultate gering zu halten, z.B. per FFT im Falle von 8 oder 16 zugrundegelegten Samples pro Block. Wie bereits erwähnt, kann durch eine intermittierend oder unterabtastend arbeitende Signalerfassung nicht nur erheblich an Hardwarekosten für die zugehörige Elektronik eingespart, sondern auch der erforderliche Rechenaufwand drastisch reduziert werden. In den bereits gezeigten Fig. 5 bis Fig. 12 ist dies z.B. ein Faktor von ca. 100, der ohne Zuhilfenahme von Meßgeräten oder dem ungeschulten Benutzer sofort und in positiver Weise auffällt.

Es ist festzuhalten, dass die auf die geschilderte Weise erhaltenen Demodulationsergebnisse zum Zwecke der Materialprüfung für z.B. vier Frequenzen incl. der Frequenz 0.0 kHz lediglich durch ein einziges Rechenverfahren, nämlich z.B. per Spektralanalyse mittels diskreter Fouriertransformation, erhalten werden, und dabei zum Zwecke der Signalkonversion lediglich einen einzigen Analog/Digitalwandler erfordern. Die Erfindung schließt jedoch nicht aus, dass zum Zwecke eines erhöhten Datendurchsatzes zwei oder weitere unabhängig voneinander arbeitende Analog/Digitalwandler vorgesehen werden, welche sukzessive getriggert werden. Mit der zuletzt genannten Lösung ist es möglich, relativ langsam arbeitende A/D-Wandler vorzusehen, und trotzdem eine zügige Datenerfassung zu betreiben. Wie erwähnt, kann das

genannte Rechenverfahren in besonders vorteilhafter Weise auf der Analyse von Meßdaten beruhen, die nach Art einer Unterabtastung, insbesondere einer zeitlich äquidistanten Unterabtastung, gewonnen worden sind.

Die Bestandteile eines erfindungsgemäßen Gesamt-Systems wird im folgenden anhand der Zeichnung Fig. 14 beschrieben.

Im oberen Teil der Fig. 14 wird in schematischer Weise ein Prüfling 13 in Form eines industriellen Halbzeugs (Bramme) gezeigt samt einem zu dekretierenden Defekt 15. Der Prüfling 13 kann sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit (Parameter "v") an einer Teststation vorbei bewegen, welche mindestens eine Sendespule 12 (Symbol: L1) und mindestens eine Empfangsspule 14 (Symbol: L2) enthält. Die Geschwindigkeit des Prüflings wird mit einem elektronisch wirkenden Geschwindigkeitsaufnehmer 17 erfaßt, welcher entsprechende elektronische Signale abzugeben gestattet.

Neben einem hochauflösendem A/D - Wandler 32 nach derzeit neuester Technologie ist eine Elektronik bzw. Computer 40 mit den Eigenschaften eines Signalprozessors wesentlicher hardwaremäßiger Bestandteil der Erfindung. Ein Counter/Timer-Baustein 44 kann außerhalb des Computers 40 vorgesehen oder in diesen integriert sein. Im Subsystem 60 befindet sich die erfindungsgemäß erforderliche Einrichtung zur Erzeugung von Fouriertransformierten (alternativ bzw. äquivalent: Wavelet-Transformierten) und eine als Digitalfiltereinheit bezeichnete Vorrichtung mit softwaremäßig definierten Filtersätzen 62. Diese sind ebenfalls vorzugsweise im Computer 40 integriert und können in dedizierter Hardware oder kostensparend lediglich in einer im Computer ausführbaren Software implementiert sein. Wie technisch an sich üblich, kann der Computer 40 nach außen hin an eine Tastatur 60, ein Display 50 und/oder an ein lokales Netzwerk (Bezugszeichen "LAN") bzw. WAN angebunden sein.

Auch im stationären, also unbewegten Zustand des Prüflings 13 erzeugt der Timer 44 ein Zeitsignal hoher Frequenzstabilität. Dieses Zeitsignal kann nach Wunsch bzw. den technischen Erfordernissen in der Frequenz variiert werden und steht typischerweise als Rechtecksignal zur

Verfügung, wie dies an sich für einen Timer bekannt ist. Das genannte Rechtecksignal wird auf einen Generator 48' als Vorgabefrequenz geliefert. Der Generator 48' erzeugt daraus entweder ein Rechtecksignal oder ein Sinussignal, bevorzugt mit einstellbarer Amplitude. (Ein Rechtecksignal besitzt in an sich bekannter Weise ungeradzahlige, hier vorteilhaft verwendbare Oberwellen). Das genannte Signal wird auf einen optional vorgesehenen Kurvenformer KF und einen Leistungsverstärker PA gegeben, welche in einer Einheit 42 zusammengefaßt sein können. Der Leistungsverstärker ist geeignet, die Sendespule 12 zu bestromen. Infolgedessen wird im Prüfling 13 in an sich bekannter Art ein Wirbelstromfeld induziert. Dieses wird von der schematisch gezeigten Empfangsspule 14 - welche nach dem Stand der Technik auch als Differenzspulensatz o.a. ausgebildet sein kann - registriert und als Wechselspannung ggf. über einen oder mehrere Bandpässe 18' und vorzugsweise über zumindest einen (bevorzugt einstellbaren) Vorverstärker 16 dem bereits erwähnten A/D-Wandler 32 zugeführt. Dieser besitzt eine Auflösung von typischerweise 18 bit oder besser, bevorzugt 22 bit oder besser. Unter speziellen Voraussetzungen (z.B. bei low-cost Geräten) kommt auch eine Auflösung von 12 bit in Frage, insbesondere wenn ca. je 1000 oder mehr Samples einer Fourier-Transformation zugeführt werden. Der A/D - Wandler 32 ist bevorzugt in der Lage, weit mehr als 500 Analog/Digitalkonversionen pro Sekunde durchzuführen. Wie an sich bekannt, resultiert bei Anwesenheit eines Defektes 15 im Prüfling ein modifiziertes Wirbelstromfeld, welches eine in Amplitude und/oder Phase veränderte Wechselspannung in der Empfangsspule 14 induziert.

Dementsprechend hängt die Leistungsfähigkeit des erfundungsgemäßen Verfahrens in gewisser Weise von der Leistung des bzw. der verwendeten A/D-Konverter ab. Dabei ist neben der Mindest-Konversionszeit auch deren Auflösung (in bits) von Bedeutung. Ansonsten existiert gemäß der Erfindung eine erhebliche Gestaltungsmöglichkeit in Hinblick auf ein zu verwendendes Abtast-Schema; d. h. zu welchen Zeiten das von der Spule L2 gelieferte Signal ausgewertet (gesampelt) wird bzw. werden soll. Es wird lediglich eine Samplezahl von > 3, besser > 9 mit jeweils unterschiedlicher Phasenlage bezogen auf die Nulldurchgänge des Trägersignals für einen einzelnen Demodulationsvorgang zugrundegelegt. Nach oben hin ist diese Zahl nur durch praktische Gegebenheiten begrenzt. Auch die Art und Weise der Bereitstellung von jeweils satzweise auszuwertenden Samples kann nach sehr unterschiedlichen

Schematas erfolgen. Wiewohl eine zeitlich äquidistante Bereitstellung von Samples bevorzugt wird, ist dies nicht unbedingt erforderlich, da im Prinzip auch eine Analyse nach Lomb (Lomb-Scargle-Periodogramm) zum Zwecke einer erfindungsgemäßen Demodulationswirkung vorgenommen werden kann.

Bei Verwendung von Fourier-Methoden ist es sinnvoll, die als komplexe Zahlen verwendeten Faktoren (sog. "n-te Einheitswurzeln") bei der Berechnung eines einzelnen Satzes an Samples so zu wählen und zu verwenden, daß die (komplexwertige) Summe dieser Faktoren in an sich bekannter Weise den Wert 0 ergibt. Bei der äquivalenten Anwendung von Wavelet-Verfahren ergeben sich ähnliche Randbedingungen und Betrachtungen. - Diese an sich sinnvolle Vorgehensweise ist jedoch nicht zwingend, da ggf. auf äquivalente Rechenverfahren zurückgegriffen werden kann.

Optional kann die Erfindung auch mit einem elektronisch wirkenden Geschwindigkeitsgeber 17 kombiniert werden. Diese Option hat den besonderen Vorteil, dass im Vergleich zu derzeit handelsüblichen Geräten eine erhebliche Einsparung an Filterbaustein-Sätzen zwecks weiterer Behandlung des oder der demodulierten Signale(s) auf nachfolgend beschriebene Weise erzielt werden kann:

Werden nur wenige Samples pro auszuwertendem Datensatz verwendet, so werden spektrale Anteile des auszuwertenden bzw. zu demodulierenden Signals aus einem größeren Umfeld der Trägerfrequenz, und auch der zugehörigen Oberwellen, bereitgestellt. Dies beruht auf der sogenannten Unschärferelation. Es ist bekannt, daß das genannte Umfeld bzw. die jeweilige Linienbreite und somit das gewünschte Demodulationsergebnis umgekehrt proportional ist zur Anzahl der jeweils aktuell verwendeten Samples.

Wird eine große Selektivität d.h. große Linienschärfe erreichen, ist gemäß der Erfindung eine große Anzahl von Samples einer jeweils aktuell auszuführenden Rechnung (Transformation, z.B. DFT, FFT o.a.) zuzuführen.

Unter dieser Voraussetzung ist es erfindungsgemäß möglich, mit sehr geringem Hardware-Aufwand die derzeitigen kostenintensiven Filterstufen zu ersetzen, die eine

angepaßte Zusatz-Behandlung des auszuwertenden Signals nach Maßgabe einer variablen Prüflingsgeschwindigkeit durchfuhren.

Hierbei wird davon ausgegangen, daß bei langsamen Prüflingsgeschwindigkeiten zumeist nur relativ kleine, d.h. schmalbandige Frequenzbereiche im Umfeld des Trägers auszuwerten sind. Bei herkömmlicher Synchrondemodulation wird dies mittels eines passend eingestellten Tiefpasses von geringer Bandbreite vorgenommen. - Bei größeren Prüflingsgeschwindigkeiten sind breitere und vergrößerte Frequenzbereiche im Umfeld des Trägers auszuwerten. Die Situation ist entfernt ähnlich wie bei der Wiedergabe von Tonband-Informationen, wo eine langsame Wiedergabegeschwindigkeit des Tonbandes lediglich mit einer geringen Signal-Bandbreite, eine große Wiedergabegeschwindigkeit jedoch mit einer großen Signal-Bandbreite einhergeht.

Die oben genannte Unschärfebedingung bedeutet ebenfalls, daß die erzielbare Bandbreite der zur Verfügung stehenden Meßzeit umgekehrt proportional ist, sofern man die normalerweise gegebene Proportionalität von Sampleanzahl und zugehöriger Meßzeit annimmt.

Wird dementsprechend bei großer Prüflingsgeschwindigkeit "v" eine große Filterbandbreite für das auszuwertende Signal gewünscht, so ist eine kleine Anzahl von Samples, also eine kleine (effektive) Meßzeit zu wählen. (Die effektive Meßzeit kann aber wie oben erläutert durch geeigneten lückenden bzw. unterabtastenden Betrieb passend gestreckt werden, um den Gegebenheiten eines A/D-Wandlers oder der zur Verfügung stehenden Rechnerleistung gerecht zu werden).

Bei geringer Prüflingsgeschwindigkeit "v" ist es dementsprechend erforderlich, für die angestrebte kleine gewünschte Filterbandbreite eine größere Anzahl Samples zugrundezulegen.

Gemäß der Erfindung kann dies mit einem überraschenden Minimum an Aufwand dadurch erzielt werden, daß die Anzahl der pro Transformation zugrundegelegten Samples direkt proportional der von dem Geschwindigkeitsgeber abgegebenen Impulslängen gewählt wird.

Dieser Geber kann in einfacher, an sich bekannter Weise z.B. mittels Lichtschranken so konstruiert werden, daß eine langsame Geschwindigkeit  $V$  des Püflings ein niederfrequentes Geschwindigkeitssignal liefert, welches mit wachsender Geschwindigkeit proportional höherfrequent wird. Ein Beispiel könnte sein: Geschwindigkeit 0,1 m/sec bewirkt Impulslängen von 15000 Mikrosekunden, eine Geschwindigkeit von 10 m/sec erzeugt Impulslängen des Geschwindigkeitssignals von lediglich 150 Mikrosekunden usw,

Dementsprechend kann gemäß der Erfindung die gewünschte Filterwirkung am bereits demodulierten Signal jetzt dadurch gewonnen werden, daß die ermittelte Impulslänge des Geschwindigkeitsgebers als ein im wesentlichen direktes Maß für die Anzahl der jeweils satzweise auszuwertenden Samples genommen wird, so daß im letztgenannten Falle z.B. ca. nur 75 Samples einer DFT oder FFT zugeführt werden und im ersteren Falle z.B. ca. 7500 Samples. Wie dem Fachmann geläufig ist, steigt der Rechenaufwand bei der Berechnung einer Fouriertransformierten für eine zunehmende Anzahl von Samples lediglich sub-proportional, so daß im erfindungsgemäßen Zusammenhang eine geschickte Nutzung der Rechenkapazität der vorgesehenen Elektronik stattfinden kann. Es ist nützlich, die Zahl der jeweils einer Transformation zuzuführenden Meßwerte zu limitieren, zumindest sollte bei Stillstand des Prüflings eine entsprechende Status-Information vom Geschwindigkeitsgeber geliefert werden.

Weitere Gestaltungsmöglichkeiten ergeben sich erfindungsgemäß dadurch, daß auch die Sendefrequenz in gewissem Umfange modifiziert werden kann, indem diese durch ganzzahlige Teilung von einer wesentlich höherfrequenten Zeit- oder Frequenzbasis abgeleitet wird. Insbesondere ist es von Nutzen, eine sinusförmige Sendespannung für Spule L1 in an sich bekannter Weise mittels eines softwaregesteuerten Zählers und einer zugeordneten digitalen Sinus-Tabelle zu erzeugen, sei es per nachgeschaltetem D/A-Wandler oder mittels eines nachgeschalteten Timer-Bausteins per Pulscode-Modulation. Selbstverständlich ist es kostengünstiger, mit rein digitalen Mitteln lediglich eine frequenzvariable Rechteckspannung bereitzustellen, welche wie erwähnt den zusätzlichen Vorteil besitzt, die interessierenden Oberwellen in signifikanter Intensität ohne Mehraufwand zu liefern.

Um Energie beim Betrieb eines erfindungsgemäßen Meßgerätes einzusparen, kann so verfahren werden, daß die Sendespule lediglich einige wenige Vollwellen vor Erfassung des

Abtastwertes nach Maßgabe eines gewünschten Sendesignals bestromt wird (um einen Einschwingvorgang zu realisieren) und sogleich nach Erfassung des Abtastwertes zu einem passend gewählten Zeitpunkt stromlos geschaltet wird, wobei ein technisch vorteilhaftes Ausschwingverhalten der Sendespule angestrebt wird. Dies ist insbesondere für batteriebetriebene, portable Geräte von Vorteil.

In Fig. 15 bis 18 werden einige Ergebnisse für visuelle Auswertung gezeigt, wie sie gemäß der Erfindung anhand der bereits den Fig. 3 bis 6 sowie 11 und 12 zugrundegelegten Informationen, also insbesondere anhand der diversen Amplituden- und Phaseninformationen, gewonnen wurden. Es werden in mehrfacher Relation und Verkettung die Daten des Trägers, der 1. und der 2. Oberwelle verwendet.

Fig. 15 beruht dabei auf der fortlaufenden Auswertung von Fouriertransformationen, die anhand all jener Samples durchgeführt wurden, die auch für Fig. 3 herangezogen wurden, d.h. ohne Defekt eines Prüflings, und während eines kürzeren Zeitintervalls.

Fig. 16 zeigt eine vergleichbare Darstellung, basierend auf den auch zu Fig. 5 und 11 gehörigen Daten ("gelückte" Datenerfassung nach Art einer Unterabtastung). Man erkennt die zu Fig. 15 vergleichbare Signalform von etwa mondsichelartiger Kontur, wenn auch mit reduziertem Informationsgehalt.

Zum Vergleich zeigen Fig. 17 und 18 den Fall bei defektiver Prüflings-Oberfläche, ohne bzw. mit "lückender" Datenerfassung (mit gewählter Distanzzahl = 97 Samples). Die Einhüllende der dargestellten Linien ist nunmehr, also im Falle eines detektierten Materialfehlers, von deutlich gestreckter Gestalt und wesentlich anders als im Falle der Fig. 15 und 16.

Eine andere Form der Resultatdarstellung wird in Fig. 19 wiedergegeben. Es werden in trigonalen Koordinaten oder in Dreieckskoordinaten in geeignet skaliertem logarithmischen (also z.B. Dezibel-) oder linearem Maßstab gleichzeitig aktuell beobachtete Werte der per Fouriertransformation Intensitäten für Träger, erste Oberwelle und zweite Oberwelle aufgetragen. Die Endpunkte der aufgetragenen Werte werden wie gezeigt zu einem Dreieck verbunden. Fig. 19 bezieht sich dabei auf die entsprechenden Werte aus Fig. 3 und 4. Wie man sieht, ergeben sich bereits ohne die ebenfalls mögliche Analyse der zugehörigen Phaseninformationen signifikante Unterschiede in den Formen von äußerem Dreiecks, welches

Abwesenheit von Fehlern repräsentiert, und innerem Dreieck, welches bei Anwesenheit eines Materialfehlers resultiert. Wie bereits aus Fig. 3 und 4 zu entnehmen, ergibt sich die interessante Tatsache, daß die Signale der 1. Oberwelle eine Differenz von ca. 8 dB aufweisen und somit deutlich stärker in Erscheinung treten als die Differenz für das Trägersignal oder die der 2. Oberwelle (jeweils ca. 3 dB). - Es bleibt unbenommen, die gewählte log. Skalenrichtung umzukehren, so daß ein Dreieck bei Anwesenheit eines Fehlers größer dargestellt wird, als im fehlerfreien Fall.

Es versteht sich, daß die Figuren 15 bis 19 lediglich als Beispiele zu verstehen sind, wie erfindungsgemäß errechnete Gut- bzw. Schadens-Resultate visualisiert werden können. Die Anzahl der Visualisierungsmöglichkeiten im Vergleich zu bislang bekannten Darstellungsweisen für Prüfverfahren der hier betrachteten Art ist vergleichsweise umfangreich und kann aufgrund des fast vollständig digitalen Charakters der vorgeschlagenen Fehlererkennung in annähernd beliebiger Weise modifiziert werden. Es kann also auch eine herkömmliche Darstellung mit entsprechend reduziertem Informationsgehalt vorgenommen werden, sofern dies zu Vergleichszwecken gewünscht sein sollte. - Weiterhin versteht sich, daß für ein automatisiertes Fehlerbehandlungsverfahren die erfindungsgemäß gewonnenen Datensätze und Informationen einer zweckmäßig geeigneten Mustererkennungseinrichtung zugeführt werden müssen, um externe Hilfsmittel wie Fehler-Markierungseinrichtungen, Sägen usw. automatisch ansteuern zu können. - Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen und Verfahren können mit sehr diversen Sensor-Systemen verwendet werden, insbesondere solchen auf Ultraschall- und Wirbelstrom-Basis, aber auch mit sog. EMAT - Systemen, oder solchen, die zur Detektion der Wirbelstromfelder sog. magnetoresistive Sensoren verwenden.

## Patentansprüche :

1.

Verfahren zur Ortung von metallischen Gegenständen, oder zur Erkennung von Defekten an Gegenständen, bei welchem mithilfe einer Rechneransteuerung gleichzeitig die wechselspannungsmäßige Bestromung mindestens einer Sendespule durch ein Trägersignal bewirkt wird, mittels mindestens einer Empfangsspule ein im wesentlichen amplituden- und/oder phasenmoduliertes Empfangssignal empfangen wird, und wobei weiterhin eine Demodulation des Empfangssignals unter Verwendung eines Computers und eines Fourier- oder Wavelet- Transformationsverfahrens vorgenommen wird, dergestalt, dass eine vordefinierte Anzahl digital ermittelter Meßresultate (Samples) einem solchen Transformationsverfahren zugeführt werden, für die Frequenz des Trägersignals ein zugehöriger Betragswert und/oder Phasenwert errechnet wird und ein solcher Betrag- und/oder Phasenwert als direktes Maß für eine aktuelle Signalstärke oder -phasenlage des demodulierten Empfangssignals verwendet wird.

2.

Verfahren zur Ortung von metallischen Gegenständen, oder zur Erkennung von Defekten an Gegenständen, bei welchem mithilfe einer Rechneransteuerung gleichzeitig die wechselspannungsmäßige Bestromung mindestens einer Sendespule durch ein Trägersignal bewirkt wird, mittels mindestens einer Empfangsspule ein im wesentlichen amplituden- und/oder phasenmoduliertes Empfangssignal empfangen wird, und wobei weiterhin eine Mehrfach-Demodulation des Empfangssignals unter Verwendung eines Computers und eines Fourier- oder Wavelet- Transformationsverfahrens vorgenommen wird, dergestalt, dass eine vordefinierte Anzahl digital ermittelter Meßresultate (Samples) einem solchen Transformationsverfahren zugeführt werden und ein Spektrum errechnet wird, sodann für die Frequenzen des Trägersignals und mindestens einer weiteren Frequenzkomponente des genannten Spektrums zugehörige Betragswerte und/oder Phasenwerte errechnet werden und die so errechneten Betrag- und/oder Phasenwerte als direkte Maßzahlen eines aktuellen

Signalstärke-Vektors oder -phasenlagen-Vektors des demodulierten Empfangssignals verwendet werden.

3.

Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei zeitlich aufeinanderfolgende Fourier- oder Wavelet-Transformationen durchgeführt werden, welche auf Mengen von jeweils mindestens 3 und bevorzugt mindestens 9 sukzessiv ermittelten Messwerten (Samples) beruhen.

4.

Verfahren nach Anspruch 3, bei dem Folgen von zeitlich einander überlagerten Sample-Mengen verwendet werden.

5.

Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem pro Vollwelle des Trägersignals mindestens 2 Samples erfaßt und verarbeitet werden.

6.

Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem pro Vollwelle des Trägersignals weniger als 1 Sample erfaßt und verarbeitet werden, somit eine lückende Datenerfassung im Sinne eines Undersampling erfolgt.

7.

Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches ein zusätzliches digital wirkendes Filterverfahren für das zu demodulierende Signal und/oder dessen Oberwellen aufweist.

8.

Verfahren nach Anspruch 7, bei welchem eine digitale Tiefpasswirkung für das demodulierte Signal bereitgestellt wird und die Breite des mathematisch zugeordneten digitalen Tiefpass-Filters dadurch varierbar gemacht wird, daß eine unterschiedlich große Anzahl von digital ermittelten Meßwerten (Samples) einer jeweiligen Fourier- oder Wavelet-Transformation zugeführt wird, so daß eine kleine Anzahl von Samples eine größere Filterbreite und eine größere Anzahl von Samples eine kleinere Filterbreite des mathematisch zugeordneten digitalen Tiefpass-Filters bewirkt.

9.

Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Anzahl von Samples umgekehrt proportional zur Frequenz eines von einem Geschwindigkeitsgeber abgegebenen Frequenzsignal gewählt wird, oder direkt proportional zu den von diesem abgegebenen Pulslängen ist.

10.

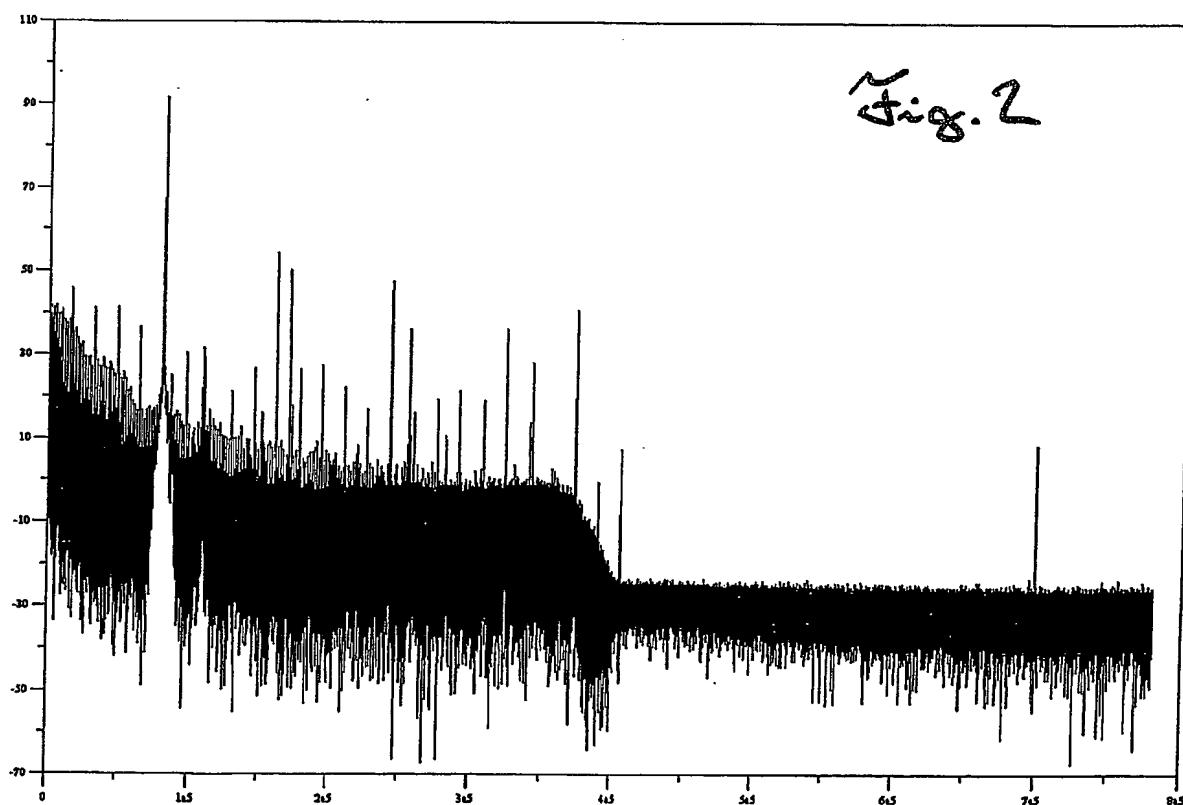
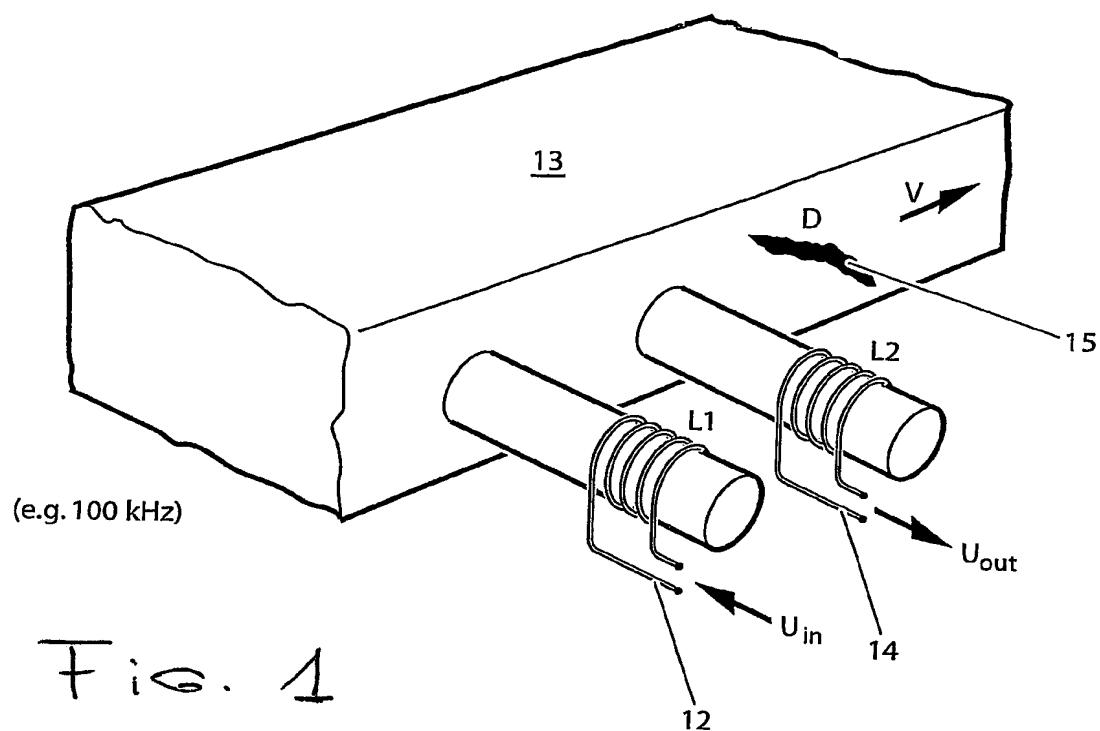
Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorgenannten Ansprüche 1 bis 9, mit mindestens einer Sendespule, mindestens einer Empfangsspule, mindestens einer elektronischen Recheneinheit, mindestens einem Analog-Digital-Wandler, und einem oder mehreren diese Einrichtungen umschließenden Gehäuse(n).

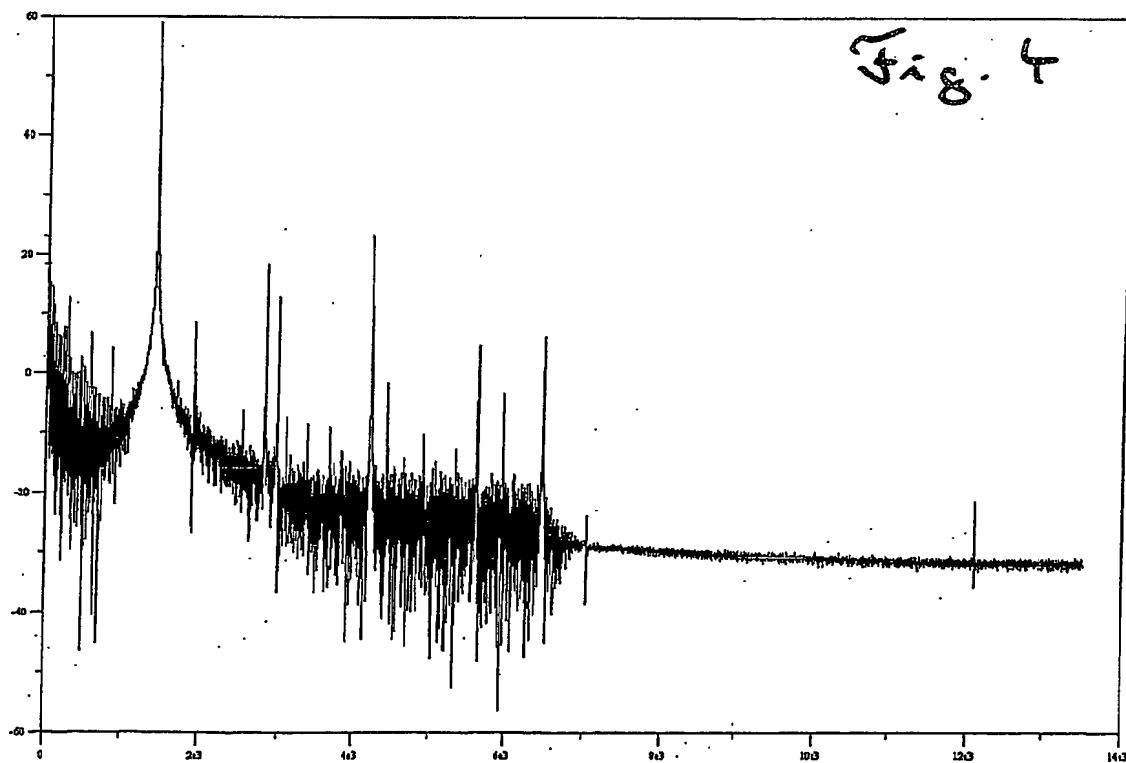
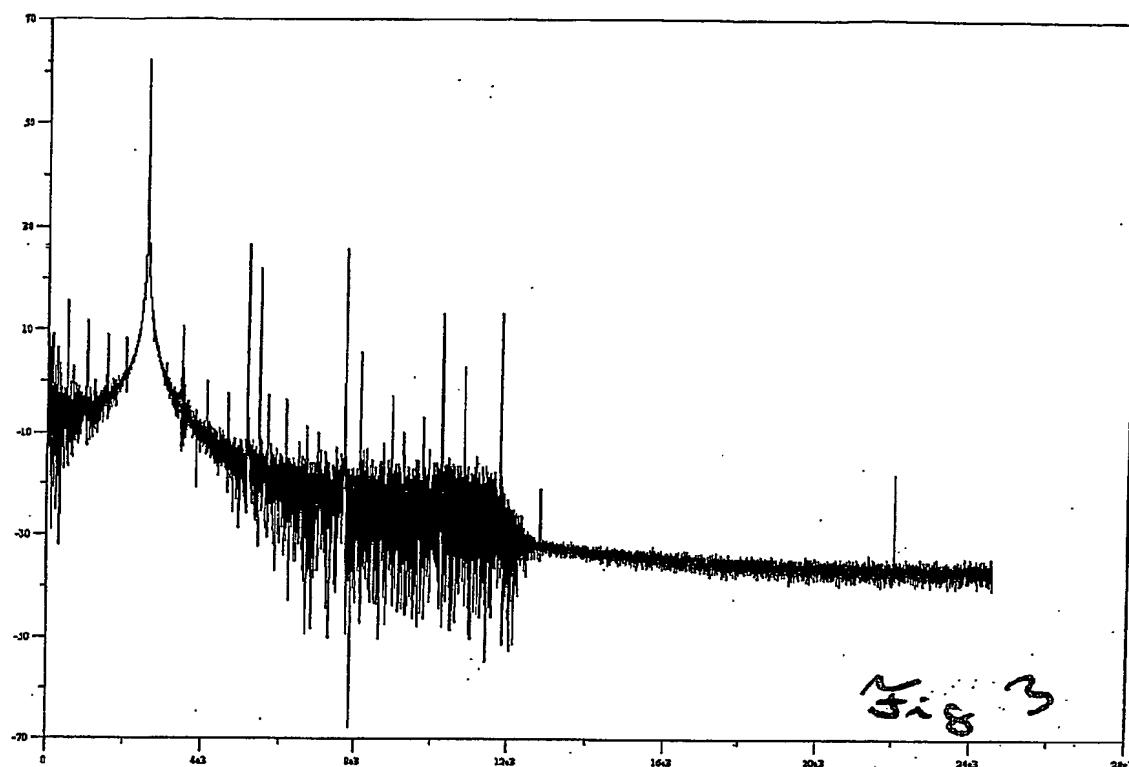
11.

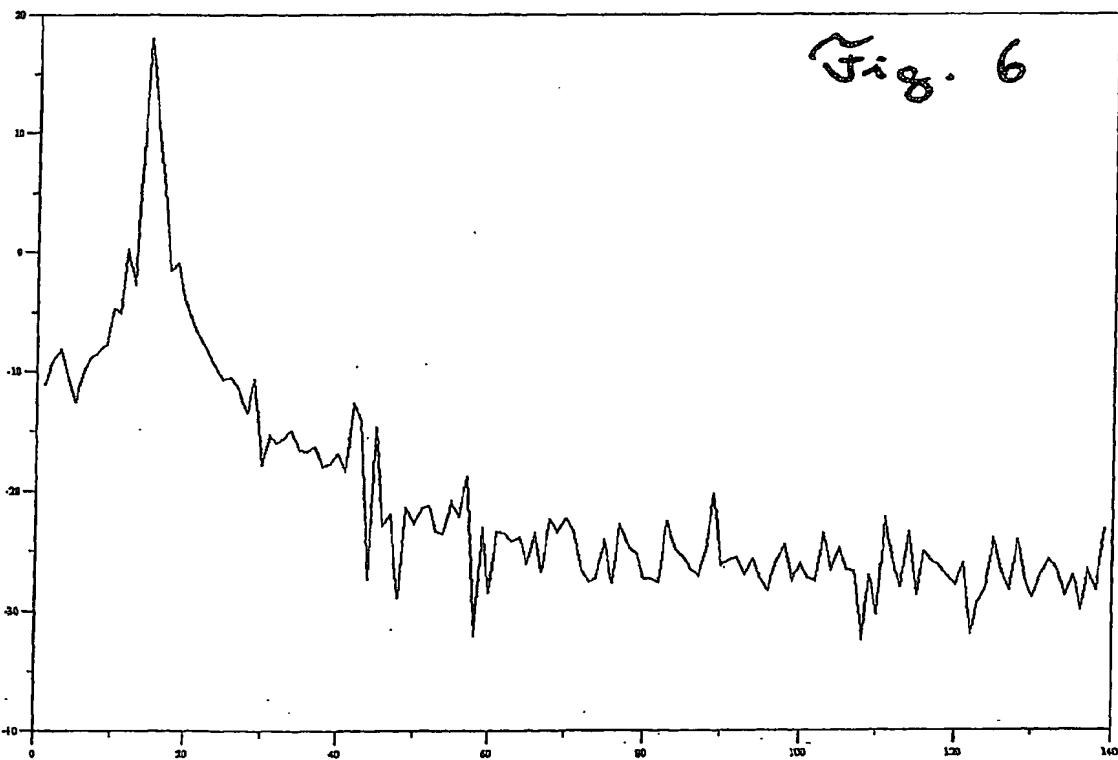
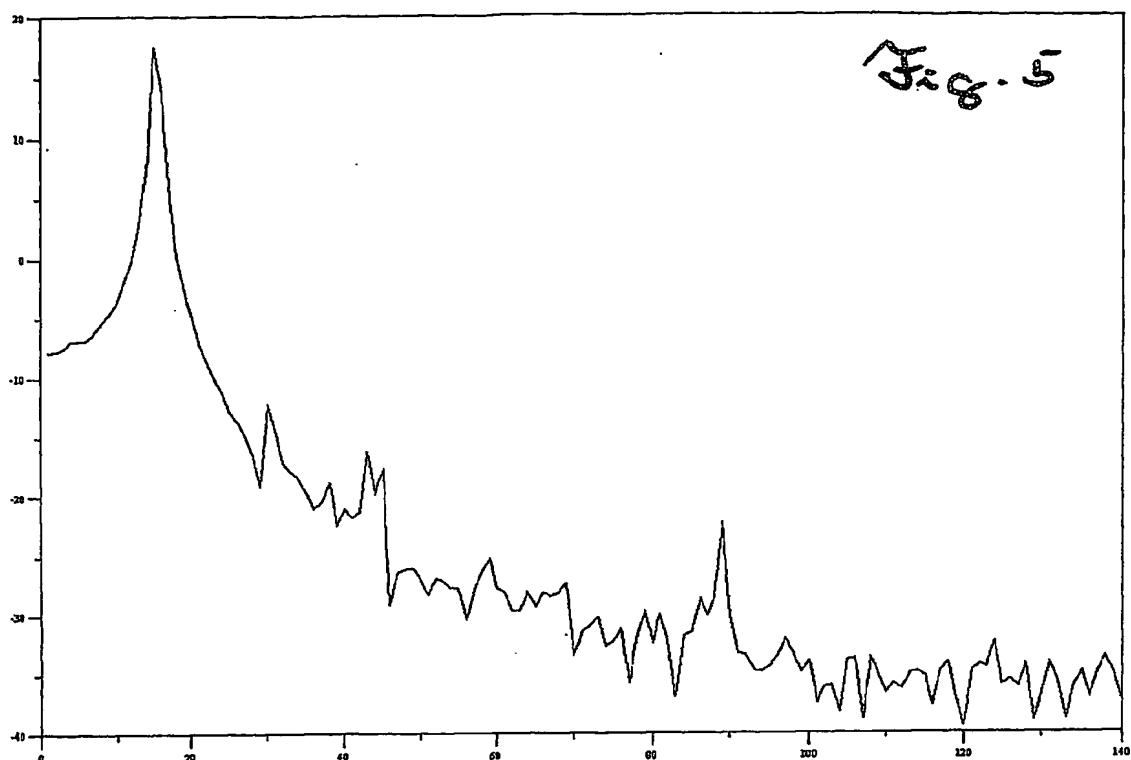
Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 10 oder eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 im industriellen Umfeld zur nicht-destructiven Fehlererkennung an Halbzeug oder Fertigprodukten.

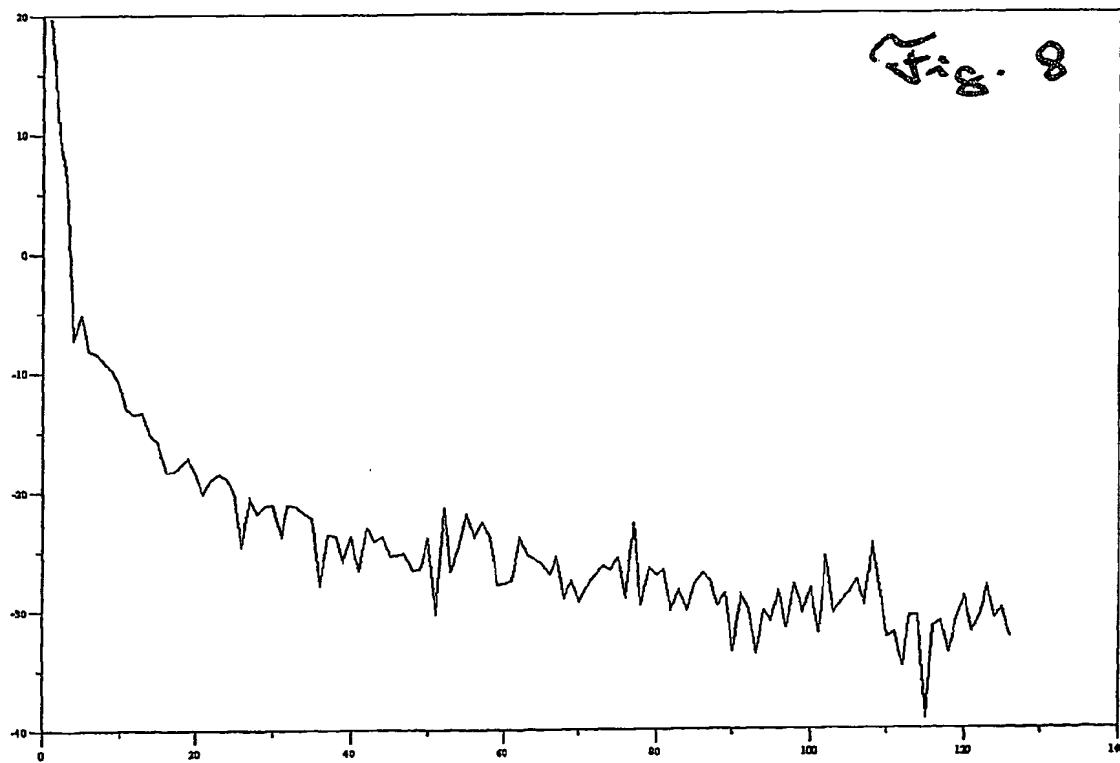
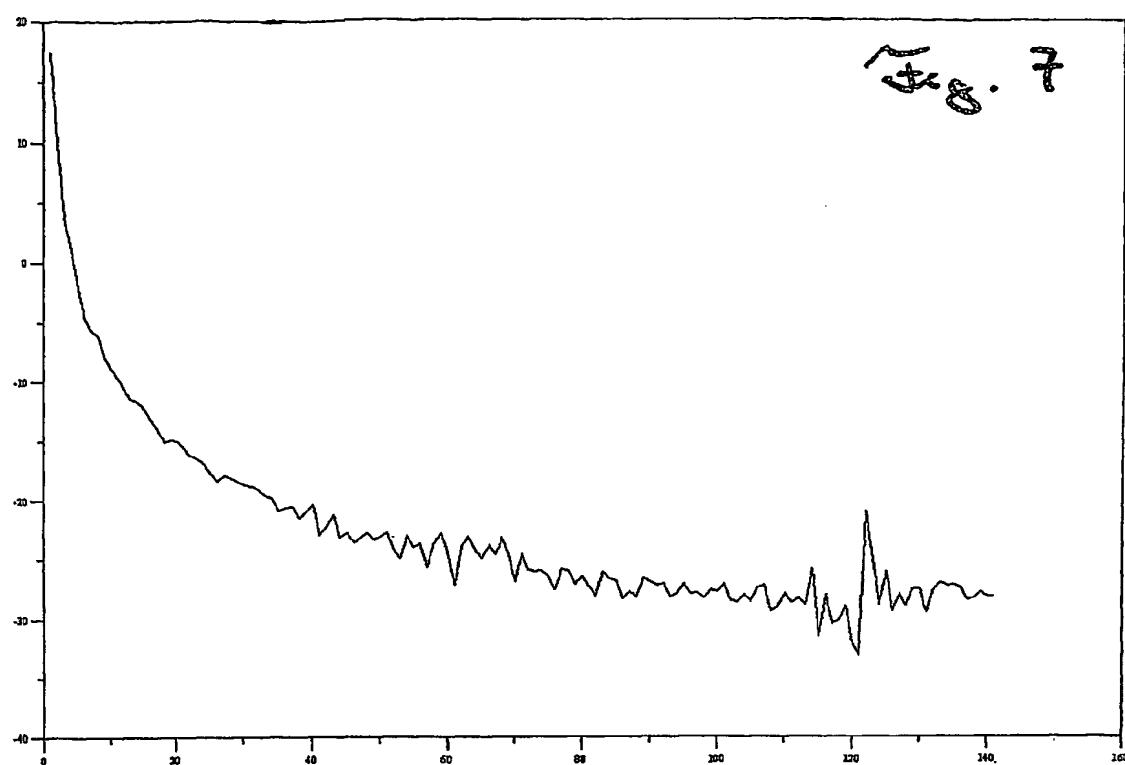
12.

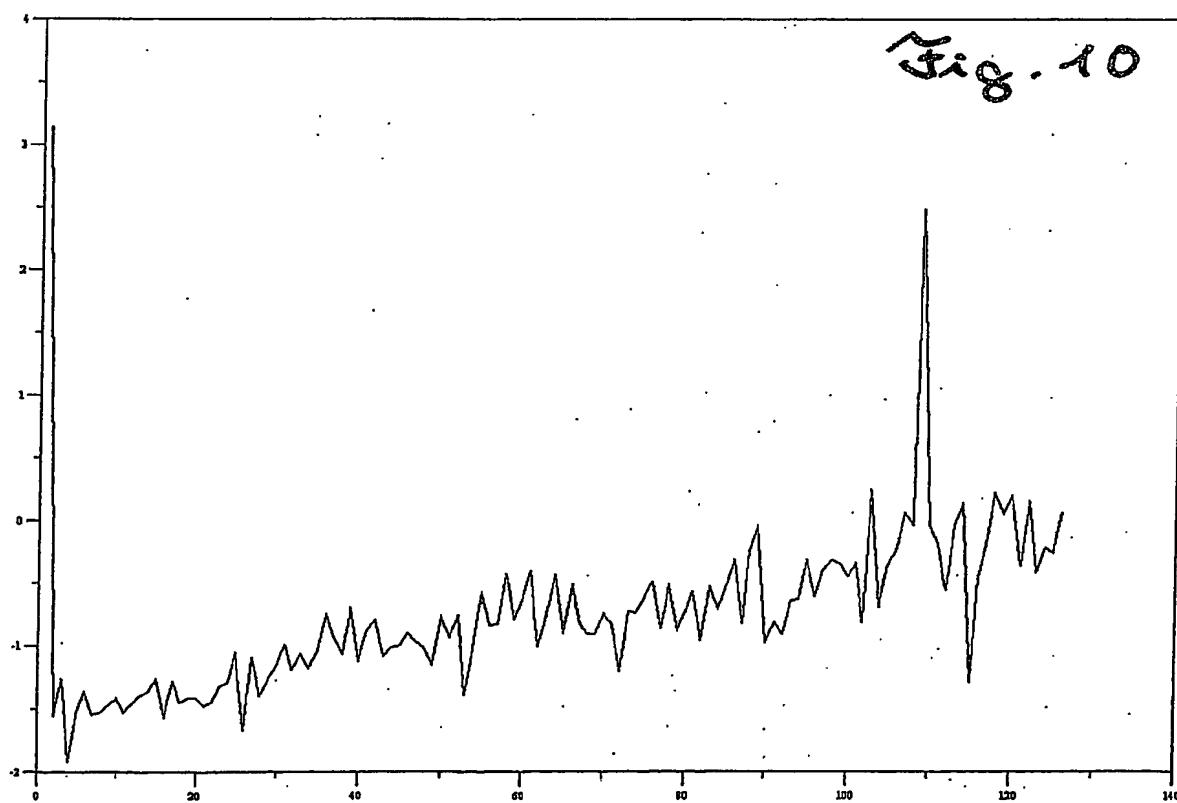
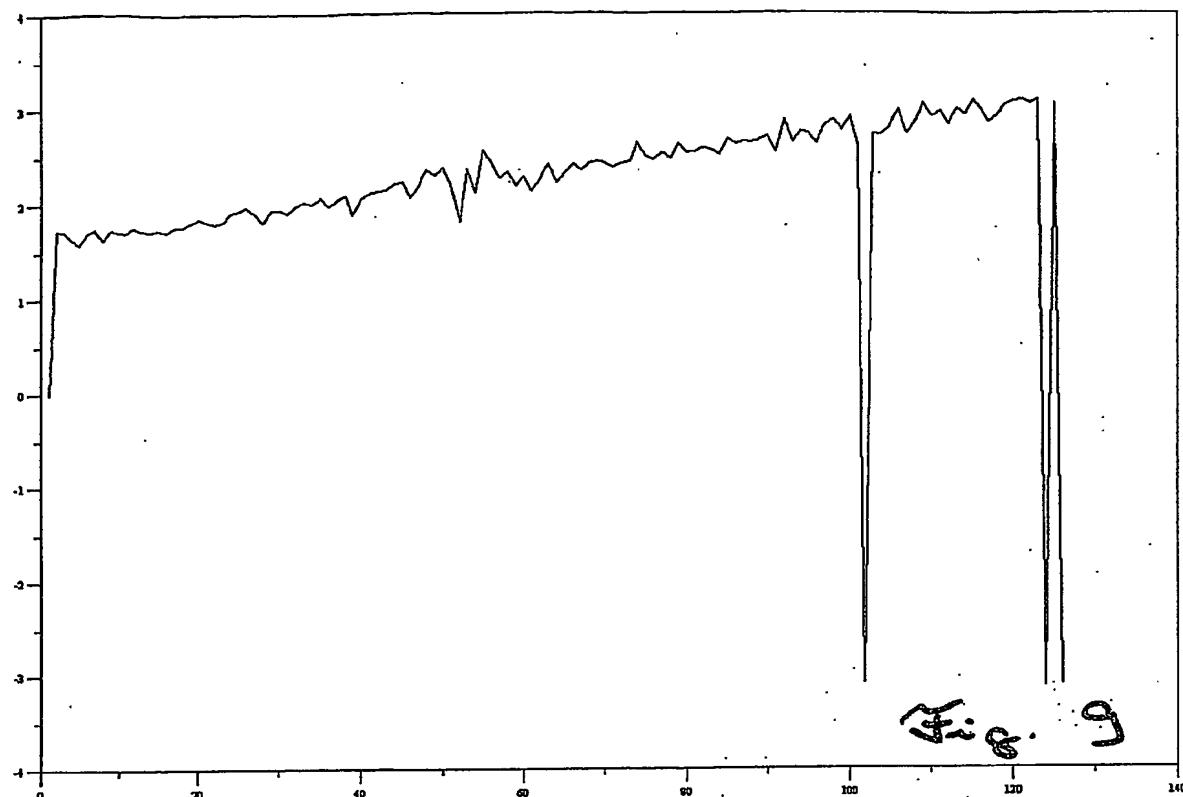
Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 10 oder eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Lokalisation von metallischen Gegenständen im Erdreich.

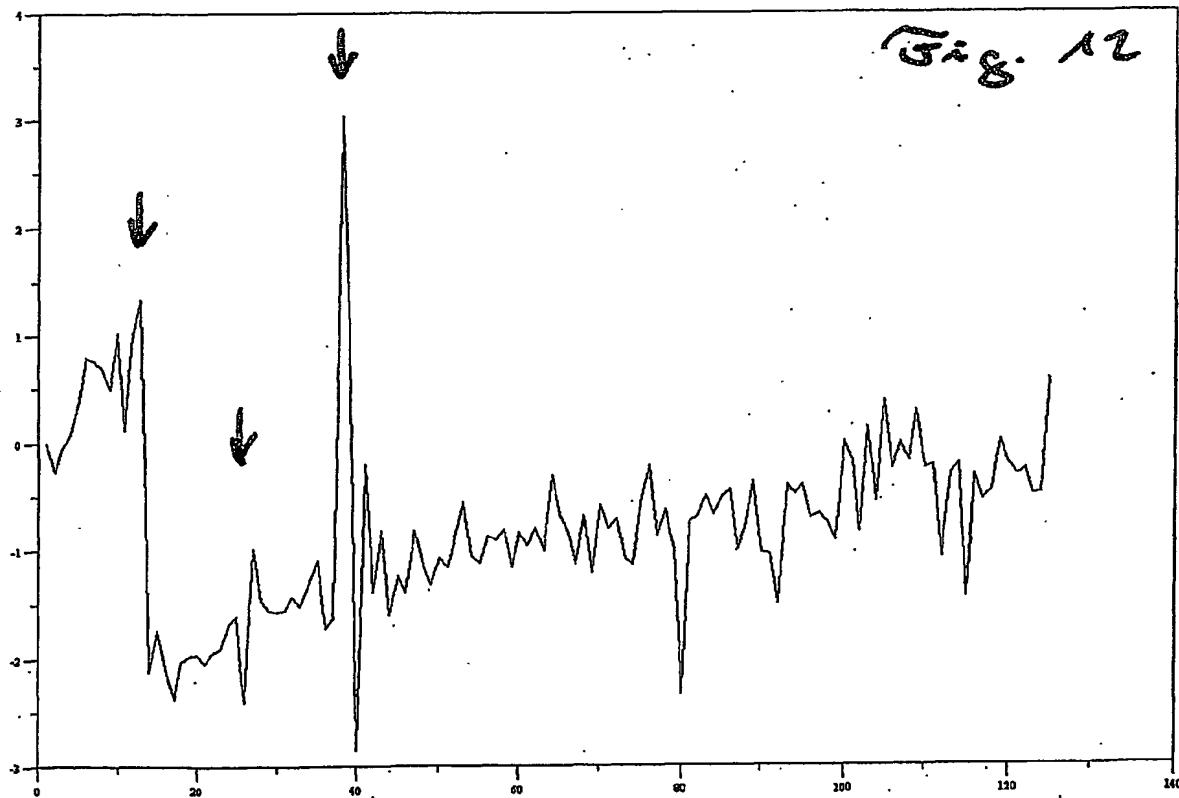
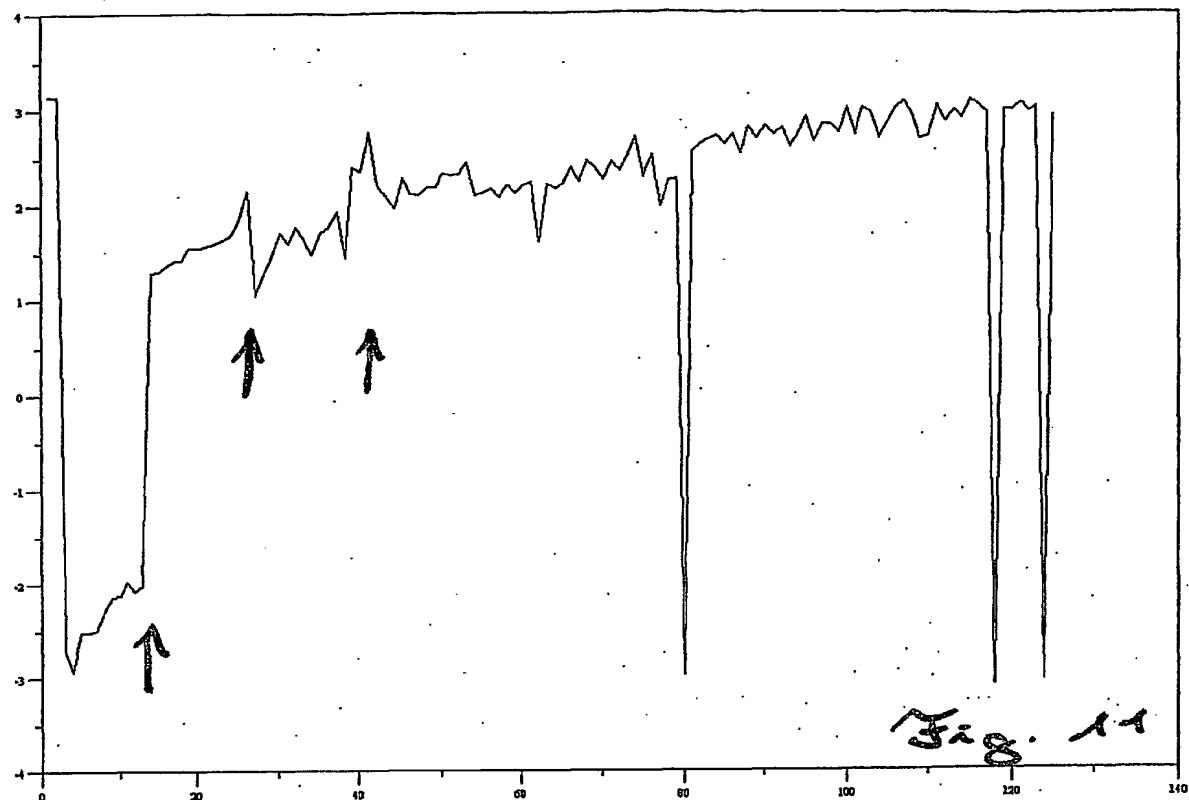












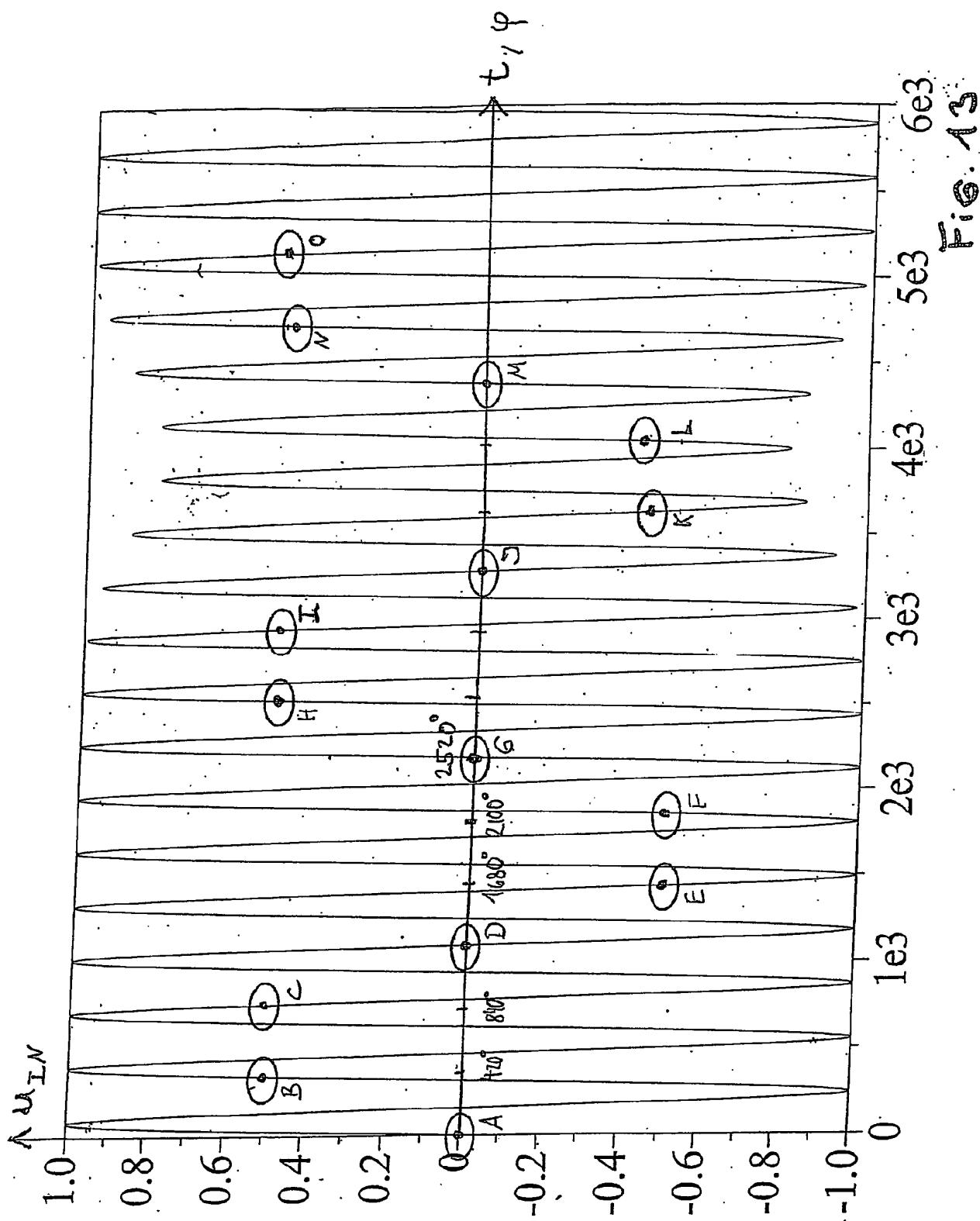


Fig. 13

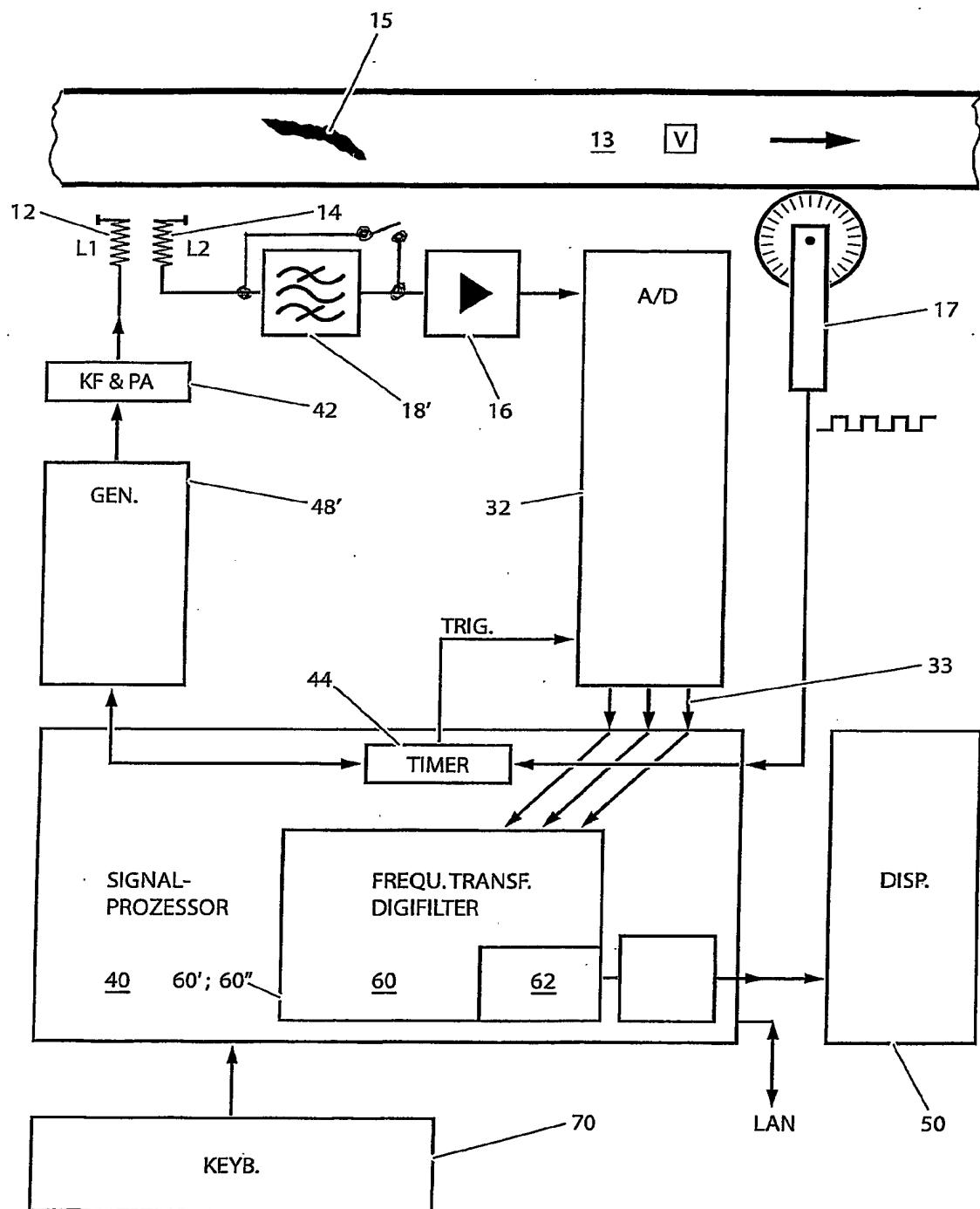
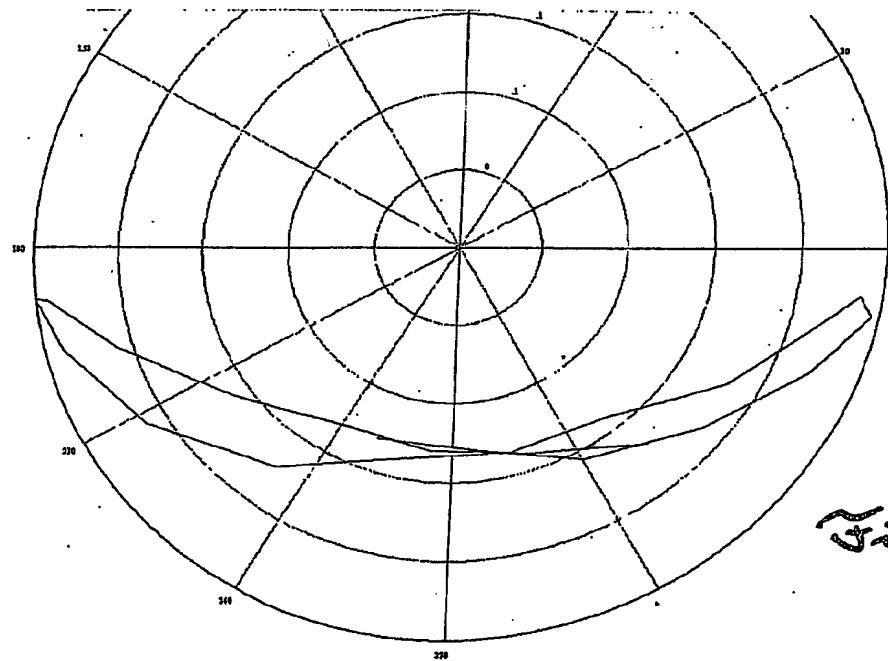
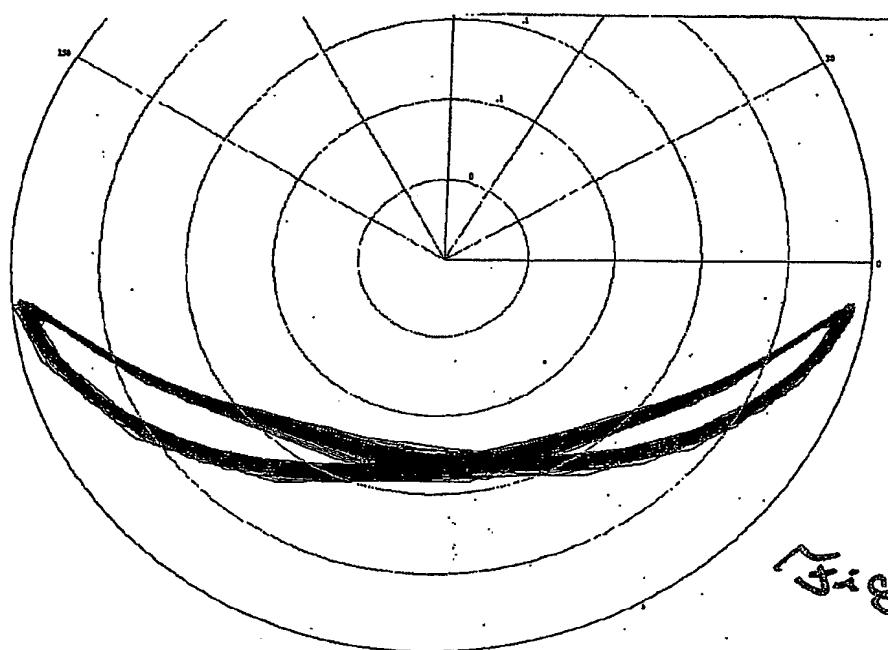


Fig. 14



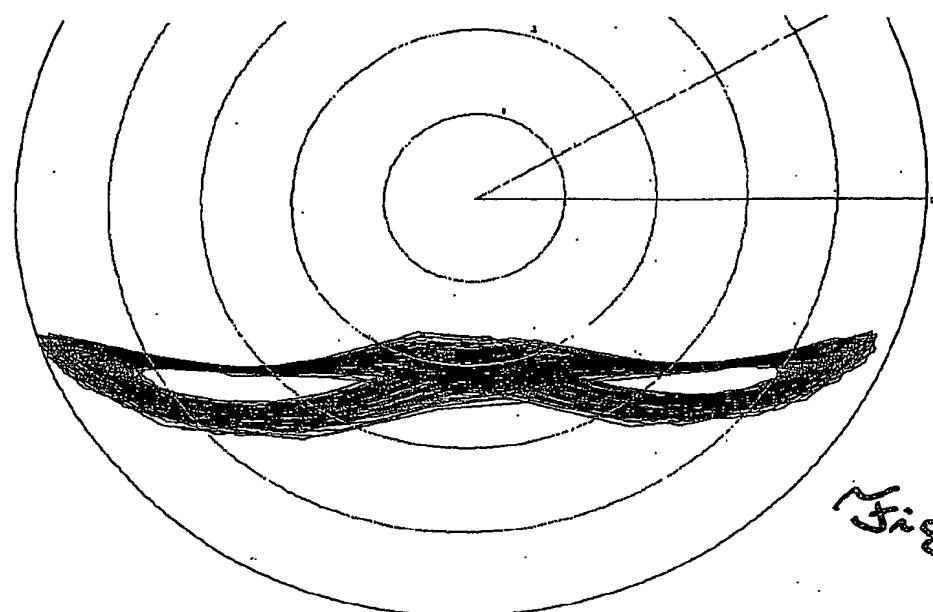


Fig. 17

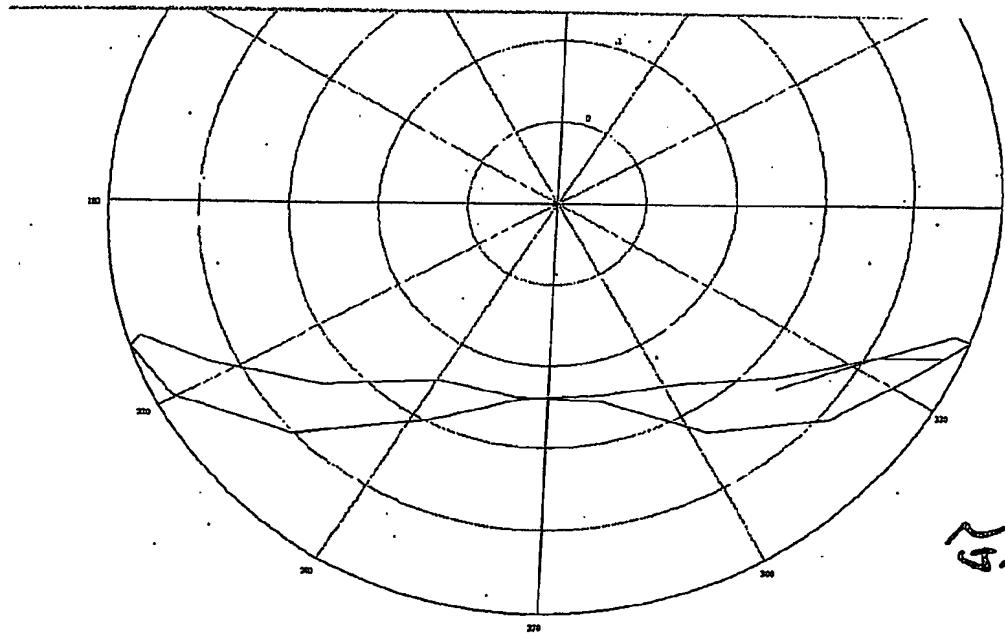
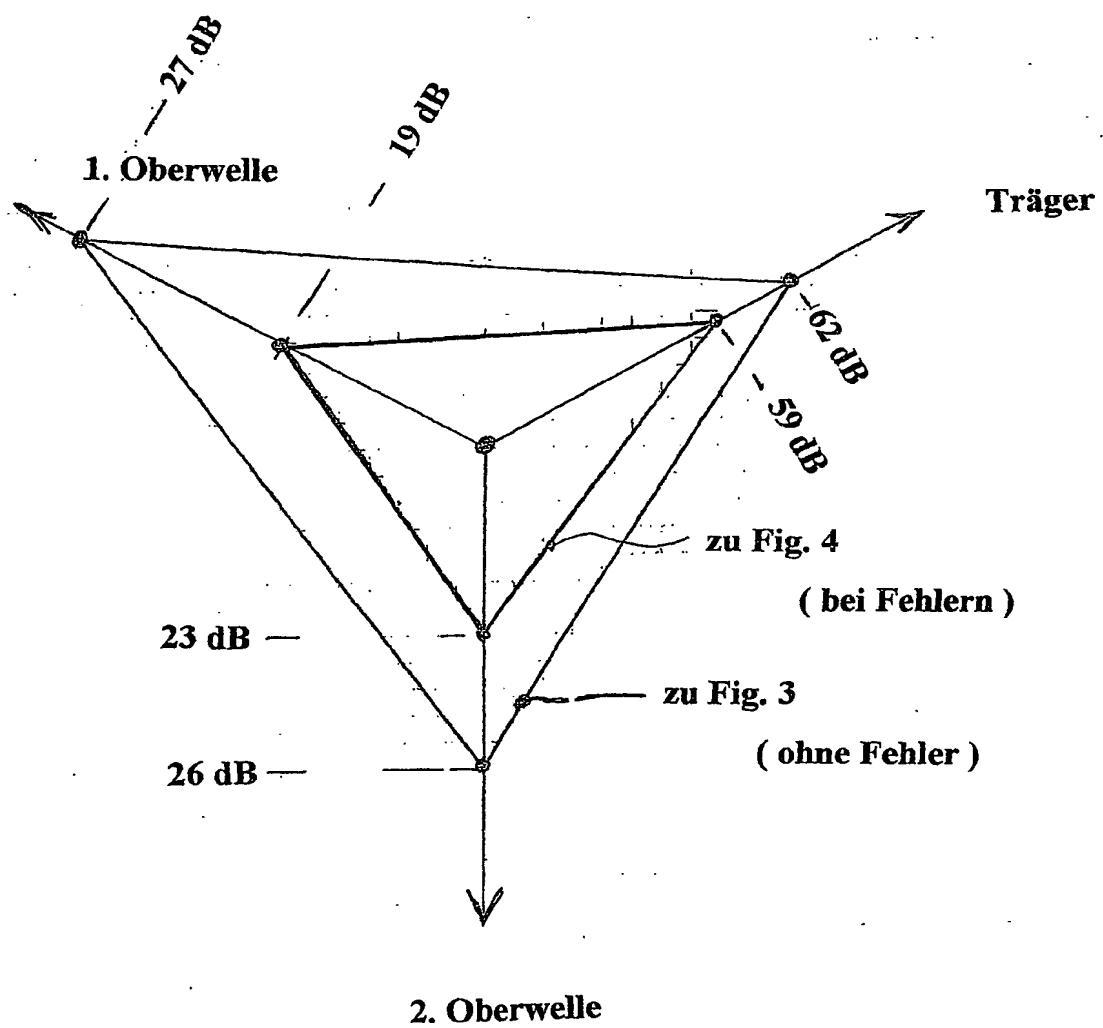


Fig. 18



**Fig. 19**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE2005/001273

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01N27/90 G01V3/38

According to International Patent Classification (IPC) or to both national Classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (Classification system followed by Classification Symbols)  
IPC 7 GOIN GOIV

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
X	<p>WO 03/052400 A (THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD; STASZEWSKI, WIESLAW, JERZY) 26 June 2003 (2003-06-26) page 1, lines 5,6 page 2, line 18 - page 3, line 2 page 4, line 6 - page 6, line 9 page 7, line 7 - page 8, line 7 page 9, lines 19,20 page 10, lines 2-12 Cl aims 5,27; figures 1-3</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-11

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general State of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 October 2005	07/11/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 cpo nl Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Meyer, F

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE2005/001273

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 525 907 A (FRAZIER ET AL) 11 June 1996 (1996-06-11) abstract column 1, lines 9,10 column 3, line 29 - column 4, line 5 column 5, lines 9-11 column 5, lines 55,56 column 6, line 55 - column 7, line 3 figures 3,4 -----	1-10,12
A	US 2004/066189 A1 (LOPEZ ESTELL) 8 April 2004 (2004-04-08) abstract paragraphs '0001! - '0007!, '0020! - '0023!; figures 1-5 -----	1,10

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2005/001273

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
WO 03052400	A 26-06-2003	AU 2002366398	A1	30-06-2003	
		CA 2471157	A1	26-06-2003	
		EP 1456639	A2	15-09-2004	
		GB 2383412	A	25-06-2003	
		US 2005109110	A1	26-05-2005	
US 5525907	A 11-06-1996	DE 69624739	D1	19-12-2002	
		DE 69624739	T2	02-10-2003	
		EP 0732600	A2	18-09-1996	
		JP 2869033	B2	10-03-1999	
		JP 8297170	A	12-11-1996	
US 2004066189	A1 08-04-2004	US 6809671	B1	26-10-2004	

# INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/001273

## A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01N27/90 G01V3/38

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprustoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbol )  
IPK 7 GOIN GOIV

Recherchierte aber nicht zum Mindestprustoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr Anspruch Nr
X	<p>WO 03/052400 A (THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD; STASZEWSKI, WIESLAW, JERZY) 26. Juni 2003 (2003-06-26) Seite 1, Zeilen 5,6 Seite 2, Zeile 18 - Seite 3, Zeile 2 Seite 4, Zeile 6 - Seite 6, Zeile 9 Seite 7, Zeile 7 - Seite 8, Zeile 7 Seite 9, Zeilen 19,20 Seite 10, Zeilen 2-12 Ansprüche 5,27; Abbildungen 1-3</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-11

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siche Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

<sup>1</sup>T<sup>1</sup> Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

<sup>1</sup>E<sup>1</sup> älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

<sup>1</sup>X<sup>1</sup> Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

<sup>1</sup>L<sup>1</sup> Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

<sup>1</sup>Y<sup>1</sup> Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

<sup>1</sup>O<sup>1</sup> Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht  
<sup>1</sup>P<sup>1</sup> Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

<sup>1</sup>&<sup>1</sup> Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Abschlußdatum des internationalen Rechercheberichts

27. Oktober 2005

07/11/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchebehörde

Europäisches Patentamt, P B 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx 31 651 cpo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Meyer, F

## INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE2005/001273

C(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie"	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 525 907 A (FRAZIER ET AL) 11. Juni 1996 (1996-06-11) Zusammenfassung Spalte 1, Zeilen 9,10 Spalte 3, Zeile 29 - Spalte 4, Zeile 5 Spalte 5, Zeilen 9-11 Spalte 5, Zeilen 55,56 Spalte 6, Zeile 55 - Spalte 7, Zeile 3 Abbildungen 3,4 -----	1-10,12
A	US 2004/066189 A1 (LOPEZ ESTELL) 8. April 2004 (2004-04-08) Zusammenfassung Absätze '0001! - '0007!, '0020! - '0023! ; Abbildungen 1-5 -----	1,10

**INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationale Aktenzeichen

PCT/DE2005/001273

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 03052400	A	26-06-2003	AU	2002366398 A1		30-06-2003
			CA	2471157 A1		26-06-2003
			EP	1456639 A2		15-09-2004
			GB	2383412 A		25-06-2003
			US	2005109110 A1		26-05-2005
US 5525907	A	11-06-1996	DE	69624739 D1		19-12-2002
			DE	69624739 T2		02-10-2003
			EP	0732600 A2		18-09-1996
			JP	2869033 B2		10-03-1999
			JP	8297170 A		12-11-1996
US 2004066189	A1	08-04-2004	US	6809671 B1		26-10-2004